

PASARELA ARCO DEL BIOPARC (VALENCIA)

Javier HENCHE BLANCO

Ingeniero de Caminos

GRAHEN INGENIEROS S.L

Autor del Proyecto y Director de las Obras

javier.henche@grahen.es

Luis María ORTIZ VALERO

Arquitecto

RAIN FOREST DISEÑO S.L

Director de las Obras

luisortiz @rainforestds.com

Resumen

Entre Septiembre de 2006 y Junio de 2007 se ha construido una nueva pasarela en Valencia sobre el antiguo cauce del Turia para dar paso al nuevo Bioparc. Se trata de una pasarela arco de 90,2 m de luz que se complementa con rampas estructuralmente continuas con el tablero. Debido a ello existe una fuerte interacción del conjunto que permite potenciar el rendimiento del arco, limitando los empujes horizontales en cimentación. El cálculo se ha realizado mediante el empleo sistemático de hojas de cálculo completamente enlazadas que ha permitido una interesante optimización del diseño, buscando la máxima ligereza. Dentro del sistema constructivo se ha introducido la curvatura convexa de la plataforma por un sistema de preincurvación cuyo objetivo es evitar el destensado de las péndolas extremas que se producen en ciertas distribuciones de la sobrecarga ante la ligereza del tablero suspendido. Para ello se ha implementado un sistema de inducción de asientos por tiro escalonado de grúas móviles.

Palabras Clave: PASARELA, ARCO, BIOPARC, INCURVACIÓN.

1. Introducción

La pasarela une los dos márgenes del cauce antiguo del Río Turia al noroeste de Valencia junto al término municipal de Mislata. RAIN FOREST VALENCIA SA es concesionaria de los terrenos de los Sectores 3 y 4 del GEL 1, donde ha sido inaugurado recientemente, un parque zoológico denominado BIOPARC VALENCIA. Su explotación requiere la construcción de una pasarela peatonal que permita el tránsito de los visitantes entre ambos sectores. Se sitúa en el denominado Parque de Cabecera del antiguo cauce, recientemente terminado con una gran calidad ambiental. Su función está vinculada exclusivamente al Parque Temático para enlazar las zonas del BIOPARC situadas en ambas márgenes: la zona de recepción y control del acceso al público se encuentra en la margen izquierda, y las propias instalaciones del zoológico en la margen derecha.



El proyecto del citado BIOPARC ha sido realizado por la empresa RAIN FOREST DISEÑO S.L., y el de la pasarela por la empresa GRAHEN INGENIEROS S.L. El equipo redactor está compuesto por D. LUIS MARÍA ORTIZ VALERO (Arquitecto) como Director del Proyecto por parte de RAIN FOREST DISEÑO SL, y por D. JAVIER HENCHE BLANCO (Ingeniero de Caminos), como responsable del Proyecto de la Estructura y Director de la obras específicas del puente.

La construcción fue realizada por VÍAS Y CONSTRUCCIONES S.A. siendo el Jefe de Obra D. Alberto Climent. La estructura metálica fue suministrada por HORTA COSLADA.

Fig. 1 Vista aérea general de la pasarela sobre el Parque de Cabecera en el antiguo cauce del Turia

2. Consideraciones del diseño

La solución realizada responde a una imagen sencilla y directa, que sobrepuesta sobre el paisaje del Parque de Cabecera, garantiza una respuesta tranquila y equilibrada. Se pretendió evitar cualquier protagonismo exagerado de la forma, por lo que se desecharon soluciones que plantearan el empleo de lenguajes arquitectónicos desproporcionados. Se han utilizado materiales de buena presencia como son el acero estructural, acabado en color blanco, la madera para la formación de acabado de tablero y el acero inoxidable en las barandillas.



Fig. 2 Vista general del nuevo Bioparc de Valencia. Al fondo la pasarela

Para estudiar el encaje formal, y explorar adecuadamente las diversas alternativas constructivas, se realizó un estudio previo de soluciones, en el que se ha analizaron las opciones mas racionales. Si bien las consideraciones estructurales no eran primordiales, se descartaron formas exageradas que distorsionaban el carácter de la zona verde en que se situaban, y que asumían un protagonismo que nadie había solicitado. En Octubre de 2005 se presentó al Ayuntamiento de Valencia un Estudio que desarrollaba a nivel de Anteproyecto las tres alternativas que respondían mejor a las necesidades funcionales del Parque Temático, dentro de un encaje formal digno del entorno. El estudio partió de una sección transversal del paso de 4 m de plataforma útil, con una luz central de unos 90 m sobre el cauce y vanos laterales de unos 25 m sobre las vías de las márgenes, ya que era una premisa administrativa el no disponer apoyos intermedios. Asimismo era conveniente separar los sentidos en los dos extremos en los arranques de la pasarela, con el fin de controlar el aforo según demande la explotación. Además de la finalmente desarrollada, se presentaron una solución en plataforma de banda tesa y otra de pasarela colgada con cable monocordón.

3. Descripción y justificación de la solución adoptada

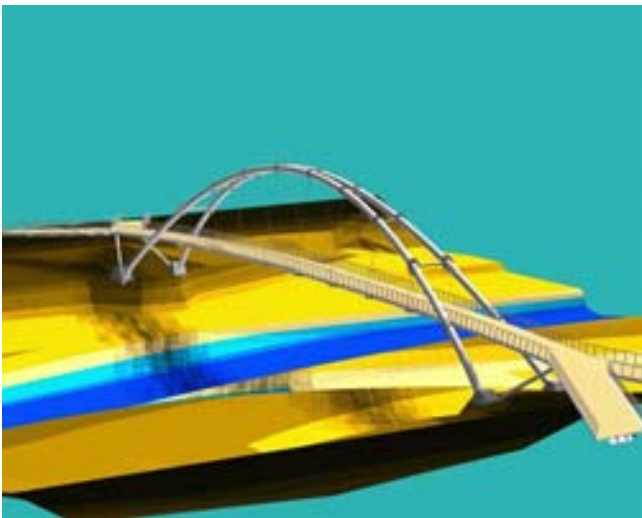


Fig. 3 Alzado infográfico de la pasarela acabada

La tipología elegida fue la de puente arco con la utilización del propio tablero como elemento de atirantamiento inferior. Este esquema es compatible que la situación intermedia del tablero respecto a sus arranques. Se ha buscado un encaje formal equilibrado, reforzando el protagonismo del arco al otorgarle un canto apreciable –que es lo más útil estructuralmente-, y limitando el canto del tablero. Se ha pretendido remarcar este extremo curvando su rasante –lo cual posee a su vez ventajas constructivas-, y disminuyendo el espesor de las péndolas, de forma que el tablero en la lejanía parezca estar suspendido en el aire.

El arco está empotrado en arranques. Posee una luz principal de 90,2 m, de los cuales los 73,8 m centrales están suspendidos de ocho péndolas separadas 8,2 m. El encuentro con el arco es una rótula cilíndrica. Los 15,1 m contiguos a cada lado acaban se apoyan en las cabezas de pilares inclinados -tornapuntas-, y el resto son tramos de rampas que se reposan en los estribos y en las tornapuntas. Estos tramos de rampas de acceso están desdoblados para cada sentido del tránsito peatonal que confluye en el tramo central único, siendo de planta oblicua y formando 25° con él.

La rasante de la plataforma posee un perfil convexo en el tramo central bajo el arco y uniforme en los accesos. El tramo central posee una contraflecha de 90 cm que mejora el aspecto formal. Se justifica estructuralmente, al obtenerse por incurvación previa del tablero durante la fase constructiva, evitando la descompresión de las péndolas extremas.

El tablero se compone de dos vigas longitudinales principales, que se apoyan en travesaños situados cada 8,2 m; a su vez éstos se cuelgan en sus extremos de péndolas. Los travesaños son perfiles IPE-400, de canto constante entre vigas principales, y variable hasta el extremo. Las vigas del tablero son armadas en forma de artesa de 40 cm de canto. Las acciones horizontales (viento y sismo) son resistidas por el plano del tablero. Para ello se utilizan las vigas longitudinales como largueros de una celosía, que se complementa con un arriostramiento inferior en forma de cruces de San Andrés con IPE-140 utilizados como diagonales, y los mismos travesaños IPE-400 utilizados como montantes.

Los arcos principales son dos de trazado parabólico situados en planos inclinados $11,15^\circ$ respecto a la vertical, sin llegarse a juntar en la clave. Se encuentran solidarizados mediante riostras entre directrices cada 8,2 m, en los puntos de anclaje de la péndolas, mediante perfiles metálicos tubulares Φ 300,8. Este esquema sirve para arriostrarlos entre sí y acortar su esbeltez transversal. Las péndolas son barras de acero lisas de alto límite elástico Φ 32, roscadas en sus extremos.

La cimentación recibe las cargas verticales del arco principal y de las tornapuntas en un plinto común e independiente para cada arco. Cada arranque se cimenta en grupos de 12 micropilotes de Φ 250 y 14 mm de profundidad.

3.1 Datos principales

DISTRIBUCIÓN DE LUCES:	20,96 (rampas) – 15,10 – 73,80 – 15,10 – 22,56 (rampas)
ARCO:	Luz 90,2 m – Flecha 18,00 m (Relación Flecha / Luz = 1 / 5)
ANCHO PLATAFORMA:	4,25 m (Libres 4,00 m).
TABLERO:	Metálico de 40 cm de canto en vano principal; 50 cm en rampas.
ARCO:	Metálico Φ 800,12 , inclinados $11,5^\circ$ respecto a la vertical.

3.2 Comportamiento estructural de la pasarela

La tipología de arco con tablero suspendido intermedio responde bien al encaje geométrico y funcional descrito. La distribución de luces se justifica en la necesidad de salvar con un único vano la parte central del cauce antiguo del Turia, y con vanos laterales las plataformas transitables de ambas márgenes. Se estudiaron diversas vinculaciones arco – tablero resultando ventajosa la unión mediante rótula. Asimismo la vinculación de arranque de arco más eficiente en términos resistentes fue lógicamente el empotramiento, resuelto mediante coronas de barras roscadas. Para impedir la descompresión de la péndolas extremas en algunas combinaciones de sobrecargas, se recurrió a su anclaje una vez incurvado el tablero de forma mecánica para dar el trazado descrito.

El tablero se sitúa en posición intermedia respecto al arco. Se utiliza éste como tirante compensador de los empujes horizontales de arco para reducir la componente horizontal en cimientos. La pavimentación prevista de madera no requiere base de hormigón y por tanto aconseja establecer una sección de tablero exclusivamente metálica. No existe ventaja estructural alguna en este caso en disponer un tablero mixto. La relación sobrecarga / peso propio en estas condiciones es elevada. Ello provoca que aparezcan fuertes flexiones en el arco en acciones no simétricas, que se han resuelto reforzando la sección del arco y rellenando con hormigón los tramos de arranques, allí donde son máximas las sollicitaciones.

3.2.1 Comportamiento frente a cargas verticales.

El esquema propuesto aprovecha la idea de plataforma suspendida de arco para la compensación de empujes horizontales mediante la utilización del tablero como elemento a tracción. Sin embargo frecuentemente la posición del tablero respecto al arco no admite dicha situación, como es nuestro caso: el encaje geométrico de la rasante se obtiene en una situación intermedia de posición del tablero respecto a la flecha, y la compensación descrita es parcial. Para mejorar el esquema se utiliza la continuidad del arco con las rampas y las tornapuntas para propiciar el trabajo conjunto. Con ello se logró reducir a magnitudes reducidas los empujes horizontales máximo en la cimentación, que puede ser absorbidas con eficacia mediante micropilotes inclinados.

El esquema estructural del arco posee otra dificultad: la distribución no simétrica de las sobrecargas provoca fuertes flexiones y deformaciones. Cuando se utiliza el hormigón como material, el peso propio es predominante frente a las sobrecargas y las flexiones son poco relevantes. Sin embargo en nuestro caso las sobrecargas son del orden de cuatro veces la carga permanente. Ello nos obligó a estudiar pormenorizadamente la distribución pésima de éstas para la comprobación de cada elemento: este efecto es decisivo en el diseño del arco, obteniéndose unas flexiones en arranques muy elevadas acompañadas lógicamente de fuertes esfuerzos axiales. Es decir el arco debe poseer una

rigidez propia apreciable para absorber la flexión y acotar la flexibilidad global en unos límites aceptables. Este efecto se puede comprender mejor si analizamos la descomposición de una sobrecarga parcial en su componente simétrica y antimétrica: solo la parte simétrica genera empujes de tipo antifunicular siendo el efecto arco efectivo; para la parte antimétrica el arco trabaja como viga de la mitad de la luz generando por tanto flexiones y deformaciones elevadas, de tipo viga, que en nuestro caso se ven compensadas parcialmente por el efecto pórtico del triángulo de apoyo descrito con anterioridad. En resumen la tipología arco ligero es muy sensible a cargas variables que generen polígonos funiculares muy apartados de la directriz del arco.

Al ser el arco una estructura que fundamentalmente se solita a compresión es preciso contemplar dentro del esquema estático su estabilidad, y en particular estimar los efectos de 2º orden. Para mejorar su comportamiento se ha utilizado el recurso de inclinar los arcos respecto a la vertical -en nuestro caso 11,15º- de forma que casi sean tangentes en la clave. Los efectos de segundo orden, y en general los incrementos de sollicitación ligados a las imperfecciones geométricas, no linealidad y los efectos de las tensiones residuales, se han estudiado definiendo una directriz modificada respecto a la teórica. En nuestro caso las imperfecciones geométricas transversales -definidas en la Norma RPM- son el doble que las verticales, del orden $L / 400$ con lo cual, aplicado en nuestro caso, y considerando el coeficiente corrector en función del tipo de acero empleado, asciende a un total de 27 cm. Esta magnitud sería relevante si los arcos fueran verticales; al ser inclinados el efecto se reduce a una sobrecarga muy ligera de uno respecto al otro, que se suma al propio incremento introducido por la inclinación básica. Así pues, con este esquema el arco trabaja fundamentalmente en su plano, apareciendo flexiones perpendiculares únicamente originadas por la componente horizontal del peso propio de los arcos no compensada, y los empujes de viento recibidos a nivel de tablero, cerca de los arranques. Estas flexiones poseen una magnitud muy moderada. Su composición con la flexión propia en el plano del arco es de carácter vectorial, con coeficientes de combinación bajos, y por tanto poco determinantes en el cómputo total de esfuerzos.

Sin embargo sí se ha contemplado en el modelo las imperfecciones geométricas equivalentes y los efectos de 2º orden dentro del plano del arco. Su magnitud establecida en RPM es de $L / 800$, con distribución antimétrica para amplificar su efecto. El cálculo no lineal efectuado revela valores apreciables que deben ser tenidos en cuenta en las comprobaciones en ELU.

3.2.2 Comportamiento frente a viento y sismo.

La estimación de los empujes de viento transversal, tanto en tablero como en arcos, se basa en el Art. 3.2.3.2.1 de IAP-98. Estos empujes de viento se aplican a todo el tablero, incluidas las rampas. Los puntos fijos de absorción de los empujes son los apoyos del tablero en los arcos y en las tornapuntas; las pilas extremas de apoyo de rampas poseen apoyos de neopreno, y por tanto sin capacidad de recibir empujes transversales.

La estimación de los empujes sísmicos se basa en la formulación del Art. 3.2.4.2 de IAP, aplicando el modelo simplificado de un grado de libertad a nuestro caso. Dentro de los modelos simplificados se elige el de "pila aislada", como más aproximado a nuestro caso (reducida interacción entre los elementos sustentantes, y posibilidad de distribuir razonablemente la masa oscilante entre los diversos apoyos). El tablero transversalmente es bastante flexible y no pueden considerarse modelos de tablero rígido. Se ha calculado el periodo de oscilación transversal de la pasarela mediante el método de Rayleigh. Dicho valor se utiliza para la estimación del valor de amplificación del espectro. En cuanto a la masa oscilante considerada se ha optado por aplicar el criterio del Art. 3.2 NCSE-02 considerando el 50% del valor de la sobrecarga. Las fuerzas estáticas equivalentes que han resultado son bastante similares a las acciones del viento. Al tratarse de una acción accidental, son determinantes los empujes eólicos respecto a los sísmicos.

Para absorber los citados empujes, se ha configurado el tablero central como una viga de celosía en su plano, compuesta por unos pares de tracción – compresión que son las vigas artesas longitudinales, los travesaños que funcionan como montantes, y las cruces de San Andrés como diagonales. Los incrementos de tensión generados por las acciones horizontales anteriormente estimadas en las vigas longitudinales del tablero son inferiores a los 36 Mpa.

3.2.3 Comportamiento frente a variaciones térmicas.

La variación térmica impuesta genera esfuerzos y deformaciones que es necesario considerar, dado que la vinculación a los apoyos es rígida frente a movimientos horizontales. Sin embargo sus efectos son menos importantes que los de la sobrecarga de uso. La deformación máxima estimada en estribos determinada es de 21 mm, inferior a la máxima inducida por la envolvente de las sobrecargas (41 mm). Las sollicitaciones asociadas a la hipótesis térmica son moderadas, debido a la flexibilidad de la estructura metálica. El esquema estático propuesta no está penalizado por tanto por esta hipótesis. Las deformaciones horizontales de origen térmico (junto con el resto) se absorben en los extremos, mediante juntas de dilatación de diseño adecuado a la magnitud de los movimientos totales.

3.2.4 Deformabilidad y vibraciones.

El dimensionado de las pasarelas viene determinado más por la obtención de un buen comportamiento deformacional que por el estrictamente resistente. En nuestro caso los movimientos son muy sensibles a la distribución de la sobrecargas: con cargas uniformes y simétricas las deformaciones son muy bajas; sin embargo con sobrecargas parciales, la deformación de la estructura depende fundamentalmente de la rigidez propia a flexión del arco y en menor medida de la del tablero. Las deformaciones calculadas en combinación frecuente fue de 93 mm en la disposición de sobrecargas pésimas.

Referente al comportamiento dinámico de la pasarela, es frecuente que un diseño estructural correcto se vea arruinado por las vibraciones inducidas por la cadencia de paso. Las comprobaciones realizadas obtuvieron frecuencias principal mínima de 1,25 Hz (antimétrica) y la segunda (simétrica) de 3,4 Hz. Se sabe que el 95% de los peatones poseen una cadencia de paso entre 1,65 y 2,35 Hz, alejadas por tanto de las frecuencias propias. La aceleración verticales máxima en situación de acoplamiento con la frecuencia propia asciende a 0,34 m/sg², inferior a la máxima aceptable según RPM.

3.3 Cálculo de la estructura

La estructura fue calculada íntegramente en hojas de cálculo y posteriormente chequeada en un modelo espacial de barras. Se implementó para ello un método matricial con 4 GDL por nodo (Dx, Dy, W de arco y W de tablero, condensándose en 1 solo GDL la deformación vertical de arco y tablero –hipótesis de péndolas rígidas-), en tramos de 4,1 m de arco y 8,2 m de tablero, que, por operatividad, fue descompuesto en hipótesis de cargas simétricas y asimétricas. Se efectuó asimismo un modelo no lineal con deformaciones asimétricas impuestas según RPX y combinación pésima de cargas también asimétricas para comprobar la seguridad en ELU de flexión. También se estudió su comportamiento dinámico mediante la adopción del método de Rayleigh en versión matricial.

El esfuerzo de “programación” del modelo fue considerable pero la capacidad de ajuste del diseño lo compensa con creces, permitiendo una optimización perfecta de todos los parámetros y las dimensiones del diseño. En efecto, una vez determinado el esquema resistente básico, se tantearon las dimensiones y las vinculaciones más relevantes, para conseguir la mayor eficiencia estructural. Concretamente se observó la influencia en diversos parámetros de control en esfuerzos y deformaciones, de las siguientes alternativas, todas fácilmente estudiadas de esta forma:

A.- Articulación de la unión a la cimentación (manteniendo la unión rígida entre tornapunta y arco). Ello suponía aumentar un 57% la flecha máxima a igualdad del resto de parámetros, sin disminuir la flexión propia del arco al tener continuidad con la tornapunta. Ello obligaba a aumentar la sección del arco para compensar el exceso de deformación y reforzar la sección de la tornapunta, ya que su flexión era idéntica a la del arco, y obligar a un diseño complicado del apoyo articulado de la estructura principal.



Fig. 4: Esquema estructural inferior y vinculación entre arco y tablero mediante rótulas cilíndricas.

B.- Variación de la rigidez propia del tablero. En el anteproyecto se consideró un tablero mixto con una rigidez apreciable. La sección de tablero metálico finalmente dispuesto posee tan solo el 48 % de rigidez de la correspondiente a la sección mixta inicialmente prevista: sin embargo aumentaba tan solo un 25 % la flecha máxima. En este caso sí se consideró útil el cambio, ya que el aumento de rigidez no compensaba el costo y la ejecución de la losa de hormigón. La solución de pavimento de madera animó definitivamente a prescindir del hormigón buscando una solución globalmente más ligera.

C.- Vinculación entre tablero y arco : La vinculación entre tablero y arco, situada a 8,2 m de los arranques, también fue objeto de estudio. Una solución bastante lógica hubiera sido apoyar vertical y transversalmente el tablero y liberar su unión longitudinal: el tablero hubiera actuado de tirante hasta su unión en las tornapuntas simplificando el esquema resistente y el diseño del apoyo. Sin embargo este esquema sólo es eficaz para cargas simétricas ya que las asimétricas no generan tracciones en el tablero. Es decir el efecto arco pierde eficacia. La unión longitudinal entre tablero y arco disminuye sensiblemente estas flexiones, a costa de requerir una unión que transmita acciones horizontales directamente al arco, evitando la transmisión de flexiones, que no son aceptadas por un tablero tan flexible.

D.- Determinación de la sección del arco óptima : Los momentos flectores en el arco son considerablemente superiores en arranques. Las envolventes de esfuerzos de la sobrecarga revelan que la flexión del arco se mantiene por debajo de los 1100 mKN, salvo en los 8 m más próximos, en los cuales sube al valor máximo de 1962 mKN. Por esta razón se observó que era muy eficaz macizar los arranques del arco para aumentar la rigidez y la resistencia de los tramos de arranque.

E.- Influencia de la rigidez del cimiento : Los esfuerzos y las deformaciones del arco son muy sensibles a la rigidez del apoyo principal. Se ha considerado dentro de los cálculos unos parámetros iniciales de rigidez horizontal y al giro de 10^5 kN/m y 10^6 mKN/rad respectivamente. Dichos parámetros poseen un valor razonable para el diseño previsto de la cimentación.

4. Construcción (Octubre 2006 – Junio 2007)

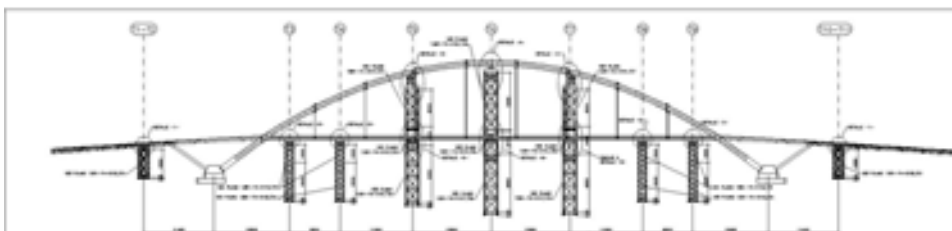
El sistema de montaje previsto en el proyecto fue el cimbrado tanto del arco como del tablero, ya que el antiguo cauce era accesible y era posible disponer torres de apeo provisional, dentro de ciertos límites. Se daba prioridad al montaje del arco respecto al tablero. Una vez iniciadas las obras el Contratista argumentó la conveniencia de alterar el orden previsto, de acuerdo a los plazos de suministro. Sin embargo era imprescindible mantener las siguientes premisas, que eran determinantes dentro de las solicitudes evolutivas de la pasarela:

- Mantener el sistema de incurvación del tablero mediante inducción de asientos en la cimbra. Se estudiaron tres alternativas: gatos, tesado de péndolas y recalce de apoyos de la cimbra mediante cuelgue de grúa. Se optó por el último método, que era estructuralmente admisible si la ejecución se realizaba escalonadamente, con pequeñas elevaciones sucesivas que llevaran la rasante desde una posición totalmente horizontal de montaje y unión de tramos, hasta conseguir el trazado previsto mediante inducción de deformación elástica. Así se realizó con un notable éxito y una enorme facilidad constructiva.
- La transferencia de peso del tablero (tesado de péndolas) al arco debe ser la última operación del montaje. Ello es debido a la gran deformación en el arco que induce el descimbrado de las rampas, que implica un destesado de las péndolas. Si se invertía el orden (primero cuelgue del tablero, luego descimbrado de rampas), había hipótesis de sobrecargas que provocaban el destesado total de la péndola extrema contraria.

Salvaguardando estas dos condiciones se calculó y se redactó un nuevo plan de montaje, de acuerdo al sistema y posición de torres de cimbrado propuesto por la Contrata. Como resumen del citado documento se describe brevemente el sistema de ejecución realizado, aprovechando la mención a las incidencias más relevantes del montaje.

4.1 Sistema de montaje de tablero

En total se emplearon 11 torres de apeo, según se explican e el croquis siguiente:



El despiece del tablero posee tres tramos centrales de 24,6 m de longitud, dos tramos de transición de tablero a rampas (pantalones), y cuatro tramos de rampas de longitudes variables. En Febrero de 2007 se comenzaron las obras de cimentación de las torres de apeo, que se conformaron a partir de módulos prefabricados suministrados de almacén. Los tramos superiores de las torres centrales (T-5, T-6 y T-7) se montaron una vez colocado el tablero. Para neutralizar en lo posible los movimientos de puesta en carga del arco se definieron unas contraflechas de montaje de los puntos de apeo. A continuación se especifican cada una de las fases definidas en el protocolo de montaje:

4.1.1 FASE 1: Montaje del tablero y rampas (Marzo 2007)

Una vez preparado el sistema de apeo comenzó el montaje del tablero, empezando por los tres tramos centrales y terminando por los tramos de rampa del lado Bioparc. En días sucesivos se complementó el montaje de la plataforma, quedando los tramos pantalón y de rampa en su posición definitiva, y el tramo central de tablero horizontal a la cota de rótulas. Se procedió a ejecutar las soldaduras de continuidad en las dos secciones del tramo central, y en los encuentros de las dos parejas de rampas de cada lado con su correspondiente tramo pantalón.

4.1.2 FASE 2: Incurvación del tablero (Abril 2007)

Tal como ya se ha mencionado se comprobó que era viable un sistema de incurvación consistente en la elevación sucesiva de los puntos de apeo del tablero hasta que éstos se situaran en la rasante final prevista. Se definieron 5 fases o escalones de izado, que consistían simplemente en la elevación controlada de los diversos puntos de apoyo del tablero mediante grúas. Para ello se efectuó un procedimiento, en el cual, además de la magnitud de la elevación, se indica la carga de tiro necesaria para provocarlo. Se efectuó una comprobación del proceso basado en el control de tiro de la grúa móvil. Con esta operación se consiguió la deformada deseada con una absoluta sencillez y economía. El objeto del proceso es recargar los apoyos más próximos a las rótulas, cerca de donde posteriormente se situarán las péndolas 1 y 8, que son las que más sufren la posible distensión.



Fig. 5: Maniobra de incurvación del tablero metálico mediante la elevación sucesiva por grúas móviles.

4.1.3 FASE 3: Montaje de los 5 tramos del arco (de 7 a 11 de Mayo de 2007)

Se comenzó con el montaje de las uniones de rótulas a los extremos del tramo pantalón. A continuación se unen y se nivelan con el sistema de tuercas y contratuercas de los plintos, hasta quedar rígidamente unidos a través de los pernos. Se finaliza colocando el mortero grout de relleno de junta entre estructura y plinto. Los tramos de riñones, se montan apeados en las torres intermedia. Por último el tramo de clave se apoya en la torre central. Se procede al cierre estructural del arco con la ejecución de las dos uniones soldadas.



Fig. 6: Montaje de los tramos de arco



Fig. 7: Colocación de la pieza de clave

4.1.4 FASE 4: Desapeo del arco

Se realizó con el orden marcado en el protocolo iniciándose por la T-6 (clave). Seguidamente se retiró T3 y T9 – apoyos rótulas- ; T5 y T7. En esta situación el arco ya empezó a trabajar ya con su forma definitiva bajo peso propio. También se procedió a soldar los tramos pantalón al tablero central.

4.1.5 FASE 5: Desapeo de rampas

Esta fase es muy exigente para el arco ya que la carga de apoyo de las rampas provoca movimientos importantes que se neutralizaron con contraflechas. En esta situación las rampas y los tramos pantalón se apoyan ya en el arco y en las tornapuntas.

4.1.6 FASE 6: Montaje de péndolas y descimbrado de tablero

El sistema de tirantes y cabezas de anclajes fue suministrado por MK4. Tanto superior como inferiormente se dispusieron "capots" comerciales que sellan la cabeza. Las péndolas se tensaron con llave dinamométrica sin generar más elevaciones que el correspondiente al despegue de su elemento de apoyo en la cimbra. Con ello quedó la estructura metálica finalizada, realizándose repasos de soldaduras hasta quedar totalmente concluida a mediados de Junio de 2007.

4.1.7 FASE 7: Hormigonado de arcos y tornapuntas

La estructura se terminó con el hormigonado de los tubos de las tornapuntas y los arranques de los arcos hasta la sección de rótulas, tal como estaba previsto en el cálculo de la estructura principal.



Fig. 8: Vista inferior de la pasarela acabada



Fig. 9: Prueba de Carga