

TABLERO SUSPENDIDO DE ARCOS EN EL ENLACE DE LA RODA AP36

Santiago PÉREZ-FADÓN MARTÍNEZ	Jose Emilio HERRERO BENEITEZ	Carlos BAJO PAVÍA	Pablo LOSCOS AREOSO
Ingeniero de Caminos	Ingeniero de Caminos	Ingeniero de Caminos	Ingenieros de Caminos
Ferrovial-Agroman S.A.	Ferrovial-Agroman S.A.	Ferrovial-Agroman S.A.	Ferrovial-Agroman S.A.
Director Técnico	Jefe de Área de EOC	Jefe Departamento de EOC I	Departamento de EOC
sp.fadon@ferrovial.es	j.e.herrero@ferrovial.es	j.j.sanchez@ferrovial.es	ploscos@ferrovial.es

Resumen

En el enlace de la Roda de la autopista AP36 un ramal cruza el tronco con un fuerte esviaje en planta. Aún colocando pila en la mediana de la autopista, las luces resultantes eran mayores de 80 metros. Por razones de trazado en alzado la cota de rasante del ramal estaba limitada, dando lugar a un canto máximo para el tablero de unos 2 metros, incompatible con esa luz. Para resolver el problema se dio apoyo al tablero colgándolo de sendos arcos que cruzaban cada una de las calzadas del tronco, y partiendo la luz del tablero en dos.

Mientras que las pilas 1, 3 y 5 son pilas tradicionales. Las pilas 2 y 4 se resuelven mediante arcos mixtos de directriz parabólica, de los que se cuelga el tablero mediante péndolas de acero. El tablero es hiperestático con vigas prefabricadas. Esta solución resuelve los condicionantes geométricos de trazado de ambas vías, manteniendo un compromiso entre gálibo libre, canto de tablero y longitud de estructura. Desde el punto de vista económico es comparable a la solución de pérgola debido fundamentalmente al fuerte coste de los muros a que da lugar esa solución. Además, desde el punto de vista estético no hay posible comparación entre ambas soluciones.

Palabras Clave: Arco, hormigón autocompactante, vigas prefabricadas, péndolas, tesado.



Fig. 1: Vista general de la estructura

1. Descripción de la estructura.

El paso es una estructura de 200m de longitud total que se divide en 6 vanos con luces de 22 – 32 – 32 – 41 – 41 – 32 metros respectivamente. El encaje del mismo viene condicionado por el fuerte esviaje que presenta con el tronco de la AP36, como se ve en la figura 2.



Fig. 2: Vista general del enlace



Fig. 3: Vista de la estructura desde el tronco de la AP36

1.1 El tablero.

El tablero está formado por un conjunto de vigas artesa de 1.60m de canto con continuidad longitudinal sobre el que descansa una losa de hormigón armado. El tablero se sustenta mediante cinco apoyos. Tres de ellos se materializan mediante pilas apantalladas mixtas con camisa exterior de chapa metálica rellenas de hormigón armado. Los dos apoyos restantes representan la singularidad de este puente, siendo el apoyo el resultado de colgar el tablero de dos arcos mixtos de directriz parabólica, entre cuyas patas se permite el paso de cada una de las calzadas de la autopista AP-36.

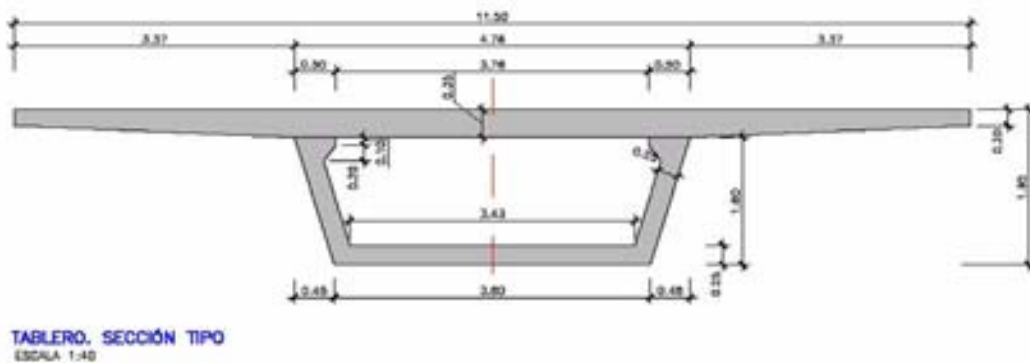


Fig. 4: Sección transversal del tablero.



Fig.5: Vigas recién colocadas sobre torres provisionales



Fig.6: Vigas, prelosas y riostra para cuelgue de arcos

Las vigas se prefabricaron de la siguiente manera:

1. Seis vigas artesa principales, con longitudes comprendidas entre 24 y 36 metros.
2. Dos vigas sombrero, colocadas sobre dos de las torretas provisionales, con longitud de 15 metros.
3. Dos vigas riostra para la suspensión del tablero en los arcos.

Todas las vigas son pretensadas y una vez colocadas se les da continuidad mediante barras activas.

La losa de hormigón armado se compone de prelosas prefabricadas sin continuidad longitudinal, sobre las que se ejecuta "in situ" una capa de hormigón armado con continuidad, hasta completar el canto total.

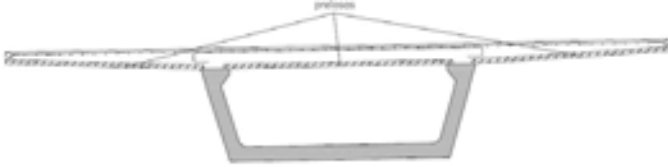


Fig. 7: Definición de losa de hormigón armado.



Fig. 8: Definición de prelosa.

1.2 Pilas.

Las tres pilas son de sección mixta, apantalladas y con rehundidos en las cuatro caras para tener cierta similitud estética con los dos arcos. Presentan alturas comprendidas entre 7.80 y 8.70 metros. La unión al tablero se materializa mediante dos filas de 15 barras pasivas, que confieren cierta rigidez frente a giros longitudinales y garantizan el empotramiento transversal. Su unión con la cimentación se efectúa con barras que anclan la chapa de base de la pila, convenientemente rigidizada mediante cartelas, a la zapata.

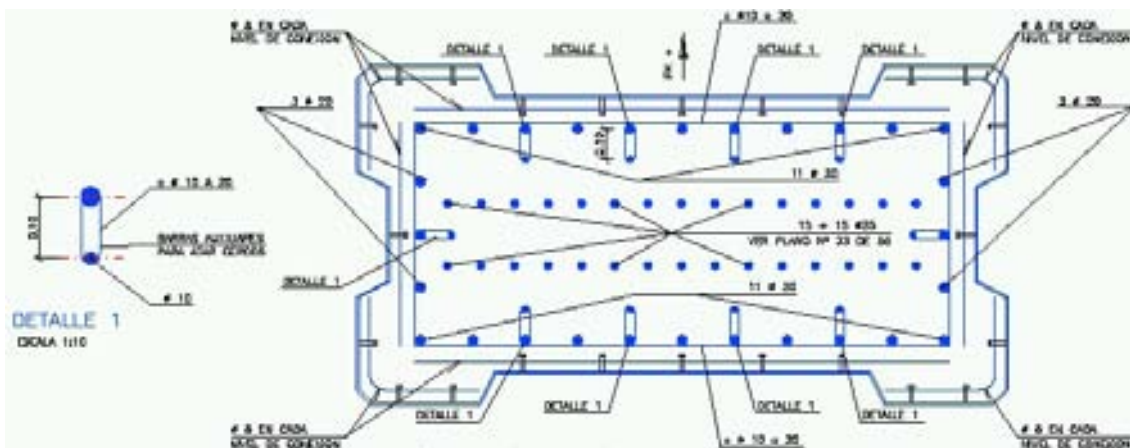


Fig. 9: Sección transversal de las pilas.

El espesor de la chapa es constante de 8 milímetros, salvo en la base, en una altura de medio metro, en la que el espesor es de 12 milímetros. El hormigón interior de las pilas es autocompactante de 35 MPa de resistencia característica. El trabajo a flexión de las pilas combina el trabajo de la camisa exterior de chapa con una armadura pasiva longitudinal.



Fig. 10: Aspecto final de las pilas en el conjunto.



Fig. 11: Vista de una pila.

1.3 Estribos.

Los dos estribos son cerrados con muros laterales y aletas. El tablero apoya en ambos estribos en dos puntos a través de aparatos de neopreno armado anclado, casi coincidentes con las almas de las vigas artesa. Las alturas totales de los muros frontales están comprendidas entre 9.23 y 11.07 metros. La cimentación es directa, con zapatas de 1.80 metros de canto.

Los muros frontales y laterales presentan rehundidos horizontales cada metro de altura, consiguiendo mantener la calidad estética del conjunto.



Fig. 12: Vista del tablero apoyando en uno de los estribos.

1.4 Pilas arco.

Los apoyos 2 y 4 son los que se materializan mediante los arcos de directriz parabólica. Estos arcos presentan una flecha de 23.5 metros y una separación entre cimentaciones de 23.10 metros. Las dos zapatas, cuadradas de 5.50 metros de lado, están unidas mediante un tirante de hormigón armado, cuya armadura recoge la reacción horizontal del arco.



Fig. 13: Vista de los dos arcos

La sección transversal de los arcos tiene unas dimensiones exteriores de 1.10 por 1.10 metros y presenta unos pliegues de 10 centímetros de profundidad en cada una de las caras. El espesor de las camisas de chapa es de 8 milímetros, constante en ambos arcos, salvo en zona de apoyos, péndolas y clave, donde se disponen refuerzos de hasta 25 milímetros para recoger las tracciones originadas por las importantes flexiones que aparecen en esas tres zonas. El relleno de los mismos se realiza con hormigón autocompactante de 40 MPa de resistencia característica.

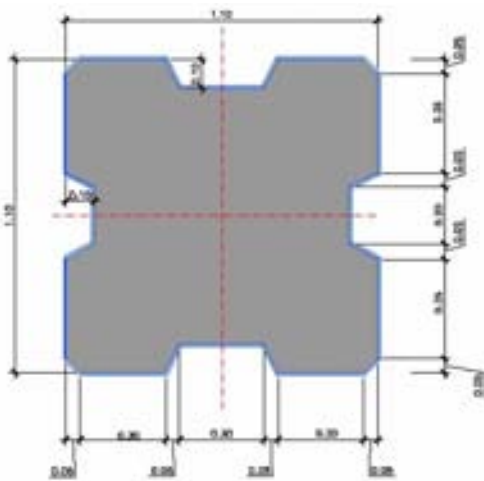


Fig 14. Sección transversal de los arcos

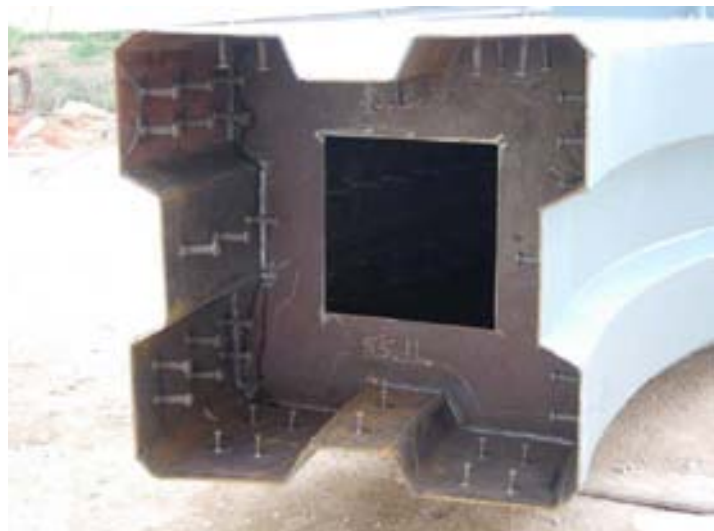


Fig 15. Clave de semiarco a pie de obra

1.5 Tirantes.

El sistema de cuelgue de cada arco se realiza mediante sendas parejas de péndolas, dispuestas en el plano central del arco, que reciben el peso del tablero mediante vigas riostras prefabricadas de hormigón pretensado. Cada uno de los arcos tiene que recoger el peso de dos tramos de tablero de distinta longitud. El primer arco toma la carga de dos vanos de 32 metros, mientras que el segundo arco toma la carga dos vanos contiguos de 41 metros de luz cada uno.

Los tirantes están formados por cordones de 0.6 pulgadas de diámetro y presentan varias barreras de protección frente a la corrosión, cordón galvanizado protegido con cera dentro de vaina individual y vaina colectiva. Cada péndola está formada por 19 cordones, salvo las interiores del arco con vanos de 32 metros, en las que se disponen 17 cordones.



Fig 16. Detalle de anclaje activo de péndolas



Fig 17. Vista de pareja de péndolas

El tablero cuelga de los tirantes a través de una viga transversal prefabricada de hormigón pretensado, que en fase de montaje descansa sobre una torre provisional.

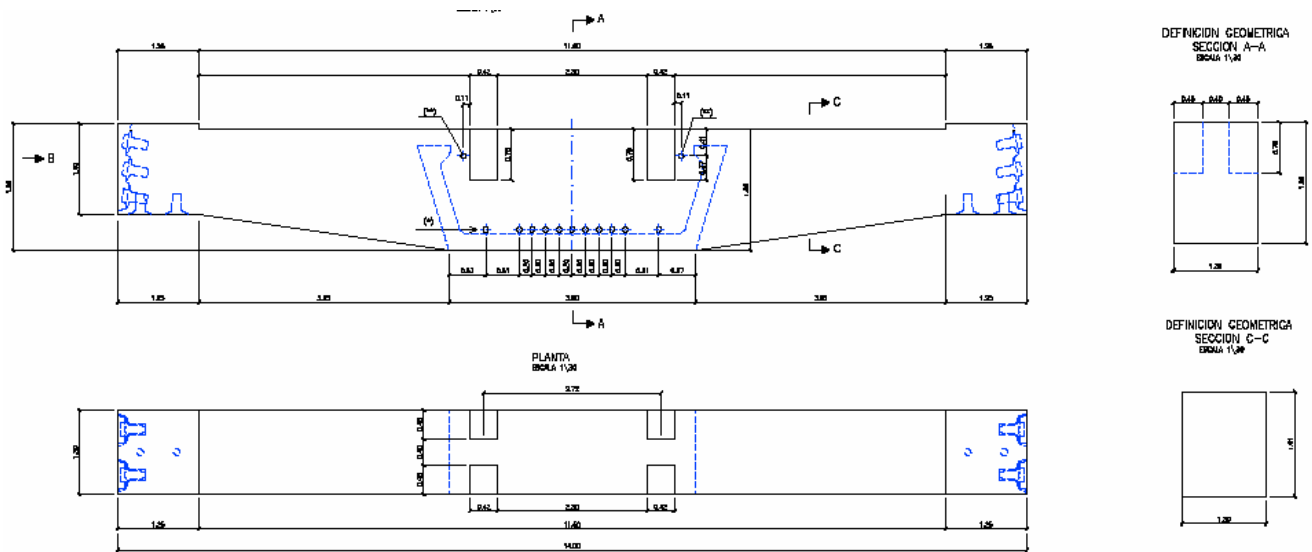


Fig 18. Riostra de cuelgue de tablero en arcos

2. Proceso de montaje.

El montaje de la estructura se realiza sin tener en cuenta los arcos mixtos. Para ello, se disponen torres provisionales para el apoyo de las vigas, como si se tratase de un puente tradicional. Sobre las torres provisionales, se colocan las riostras y sobre ellas las vigas, realizando la conexión longitudinal mediante barras de pretensado.

El arco de iza en dos tramos que se unen en clave y posteriormente se da tensión a las péndolas hasta despegue de las torretas provisionales, obteniendo el esquema de trabajo definitivo de la estructura.

Este esquema constructivo se detalla a continuación.

2.1 Ejecución de la subestructura.

En primer lugar se ejecutaron todas las cimentaciones, tanto provisionales como definitivas, se ferrallaron, encofraron y hormigonaron los estribos, se colocaron las chapas de las pilas junto con su armadura, y se rellenaron de hormigón autocompactante.

Sobre las cimentaciones provisionales se dispusieron torretas para el apoyo de las vigas prefabricadas y de las riostras.



Fig 19. Vista de apoyo de vigas en torreta provisional



Fig 20. Detalle de torreta de apoyo provisional de riostra

2.2 Colocación de vigas.

A continuación se disponen las vigas artesa y las riostras, prefabricadas y pretensadas. Sus extremos se apoyan en torres provisionales hasta que se unen entre sí mediante barras activas.



Fig 21. Riostra y vigas artesa durante su colocación



Fig 22. Unión de riostra y vigas artesa

2.3 Colocación de prelasas y hormigonado de capa de compresión

Una vez terminada la colocación de las vigas y riostras sobre los apoyos provisionales, las pilas y los estribos, se colocan las prelasas tal y como se describe en el punto 1.1, y posteriormente se hormigona una capa homogénea de hormigón armado sobre todo el tablero, quedando este terminado.



Fig 23. Colocación de prelosas



Fig 24. Hormigonado de capa de compresión

2.4 Izado de semiarcos y materialización de sus uniones.

La colocación de los arcos se realiza de manera independiente a la del montaje del tablero, con la precaución de dejar libre la sombra del mismo para no interferir en el izado de cada uno de los dos tramos en los que se dividió cada arco. El izado de los arcos requería varios movimientos hasta llegar a su emplazamiento definitivo. Una vez que se izaron los arcos mediante grúas, se realizó la soldadura de clave y la conexión a la cimentación.

El izado de cada semiarco se realiza con una grúa principal, que lo sostiene desde dos puntos y otra de apoyo para corregir desviaciones. Una vez la base del semiarco está sobre su zapata, se desciende haciendo coincidir los taladros de la chapa de base sobre las barras de anclaje de la zapata. La operación se repite para los dos semiarcos, momento en el cual se procede a unir la clave mediante soldadura y a regular y hormigonar en segunda fase las zapatas.



Fig 25. Izado de semiarco



Fig 26. Unión en clave

2.5 Relleno de arcos con hormigón autocompactante.

En el momento en que el arco era estable sólo con la sección metálica, se procedió al vertido del hormigón autocompactante en el interior del cajón metálico mediante ventanas de hormigonado dejadas a tal efecto. Estas

ventanas se cerraban a medida que se iba subiendo con las distintas tongadas de hormigón. Se definió un esquema de hormigonado por fases, de manera que la presión que ejerciese el hormigón fresco sobre la chapa metálica no podujese tensiones excesivas.

2.6 Transferencia de carga a los arcos mediante tesado de péndolas.

El proceso de cuelgue del tablero se realizó mediante el tesado de los tirantes desde los anclajes activos colocados en la parte inferior de las vigas riostras. La transferencia de cargas se realizó a falta de las cargas de pavimento y barreras.

Se diseñó un esquema de tesado en tres fases, por parejas simétricas de péndolas, de manera que terminada la tercera fase de tesado se produciría el despegue de las torretas en una longitud igual a la flecha prevista para las cargas de pavimento y barrera.



Fig 27. Gato de tesado de péndolas



Fig 28. Despegue de torretas provisionales

2.7 Retirada de torres provisionales y colocación de elementos no estructurales.

Una vez que el tablero ha quedado completamente apoyado en estribos, pilas y arcos, se procede a la retirada de todas las torretas provisionales, a la colocación de las barreras y al vertido del firme. De esta manera, la estructura queda completamente terminada a falta de la pintura de los elementos metálicos (pilas y arcos).



Fig 29. Colocación de barrera metálica



Fig 30. Vista de usuario de la estructura terminada

2.8 Prueba de carga.

La prueba de carga se realizó colocando camiones en diferentes posiciones para configurar los estados de carga que garantizaran el buen funcionamiento de la estructura. Se comprobaron flechas y recuperaciones en estados de flexión y de torsión, obteniendo los resultados esperados en todos los casos.



Fig 31. Estado de la prueba de carga



Fig 32. Equipo de toma de datos

3. Conclusiones.

Las particulares condiciones geométricas del cruce que se plantea en el enlace de La Roda hacen necesario el encaje de una solución poco convencional. El estudio de diferentes alternativas condujo a la solución presentada, la más idónea desde el punto de vista estructural y estético. El fuerte esvía del cruce, el gálibo a respetar, tanto horizontal

como vertical, las luces a salvar, la distancia entre los apoyos transversales en las pilas 2 y 4 convierten a este puente en la respuesta al problema estructural planteado.

El movimiento mediante grúas de piezas muy flexibles exige un estudio riguroso de puntos de cuelgue y sincronización de los movimientos para que esta fase no sea dimensionante de los elementos estructurales.

En el momento de redacción de este artículo se encuentra en proyecto la estructura 1.8 correspondiente al salto de la carretera M-203 sobre la autopista R3 en Madrid. Esta nueva estructura presenta también dos de sus pilas materializadas por arcos mixtos de directriz parabólica.



Fig 33. Vista general de la estructura E-163 en el enlace de La Roda