

Puente de La Florida. Conexión del barrio de La Florida con la C/ Martínez Cachero, Oviedo

La Florida Bridge. Connection between La Florida neighborhood and Martinez Cachero street, Oviedo

Guillermo Capellán Miguel^a, Alejandro Godoy Ansótegui^b, Marianela García Pérez^c, Santiago Guerra Soto^{d,*}, Juan Ruiz Escobedo^c y Julio Santos Zalduondo^c

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Director Técnico, Arenas & Asociados, Santander, España

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Jefe de Proyecto, Arenas & Asociados, Santander, España

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Ingeniero de Proyecto, Arenas & Asociados, Santander, España

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Coordinador de Calidad, Arenas & Asociados, Santander, España

Recibido el 11 de abril de 2017; aceptado el 28 de mayo de 2017

RESUMEN

El Puente de La Florida es un proyecto promovido por el Ayuntamiento de Oviedo para conectar los barrios de La Florida y el Parque del Oeste. El diseño representa una novedad en los puentes urbanos, resolviendo la conexión mediante una rotonda volada semicircular suspendida de su borde interior mediante un sistema de péndolas. Los cables de suspensión y de retenida cuelgan de un cable principal cerrado, con forma de lazo, que se ancla en un mástil central articulado. La estructura se completa con un viaducto de acceso de hormigón postesado, un vano de conexión mixto entre rotonda y viaducto, dos pasarelas voladas y un anillo de retenida de hormigón.

© 2019 Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Publicado por Cinter Divulgación Técnica S.L.L. Todos los derechos reservados.

PALABRAS CLAVE: Acero; Rotonda; Sistema de suspensión; Anillo de retenida; Pasarelas

ABSTRACT

La Florida Bridge is a project promoted by Oviedo City Council to connect La Florida and Western Park neighborhoods. The design is an innovation in urban bridges, solving the connection with a flying semi-circle roundabout suspended from its inner edge by a system of cables. Hangers and backstays hang from a loop shaped closed main cable, anchored to a central articulated mast. The structure is completed with a post-tensioned concrete approach viaduct, a composite connection span between roundabout and viaduct, two cantilever footbridges and a concrete counterweight ring.

© 2019 Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Published by Cinter Divulgación Técnica S.L.L. All rights reserved.

KEYWORDS: Steel; Roundabout; Suspension system; Counterweight ring; Footbridges

1

ANTECEDENTES

El Puente de la Florida se proyecta para resolver la conexión entre los barrios ovetenses de La Florida y Parque del Oeste, salvando la línea de FEVE Oviedo-Pravia y el desnivel de 8

metros que los separa, materializado con un muro de escollera. Estos obstáculos, sumados a otros condicionantes como son la ubicación entre edificios, las limitaciones de gálibos y la planificación viaria prevista por el Ayuntamiento, obligan a una singular solución estructural en la que se debe implantar una semirrotonda sobre las vías del ferrocarril con un canto muy reducido (fig. 1). [1]

* Autor para correspondencia.
 Correo electrónico: sguerra@arenasing.com (S. Guerra Soto).



Figura 1. eje de conexión entre los barrios de La Florida y Parque del Oeste.

2. DISEÑO DEL PUENTE

El diseño definitivo consiste en un tablero mixto con forma de corona semicircular que vuela sobre las vías del ferrocarril y completa la semirrotonda existente en la zona de La Florida. El tablero de la rotonda, de 68 cm de canto, es mixto y se suspende respecto de su borde interior mediante un sistema de cuelgue indirecto, en el que los tirantes de suspensión y de retenida se unen a través de mordazas a dos cables principales en forma de lazo. La rotonda volada se une con la zona del Parque del Oeste a través de un viaducto de hormigón postesado de dos vanos de 19 y 23 m, y dos tramos mixtos intermedios de conexión entre rotonda y viaducto de 20 m de luz (fig. 2).

3. COMPORTAMIENTO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

La singularidad de la estructura ha requerido un gran esfuerzo durante la fase de diseño. A pesar de que las dimensiones de la obra no son muy grandes, en ella se han combinado multitud de soluciones técnicas, siempre en la búsqueda de la máxima eficacia de los diferentes materiales. Dentro de este proyecto se pueden encontrar cimentaciones directas o profundas mediante pilotes y micropilotes, tableros de hormigón postesado y mixtos, elementos metálicos



Figura 2. Vista 3 D del diseño definitivo del puente.

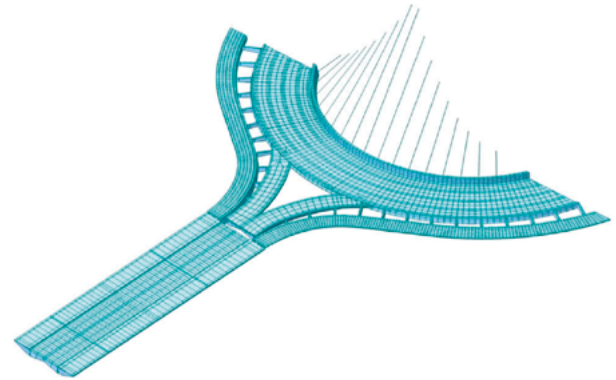


Figura 3. Modelo general de elementos finitos.

como el mástil, las costillas, mordazas o rótulas, elementos de hormigón como los estribos, pilas y el anillo de retenida, y un complejo sistema de suspensión mediante cables. Todo ello en conjunto ha hecho de este proyecto un gran desafío técnico.

Durante el diseño se han empleado diversos modelos de elementos finitos, tanto generales como de detalle, para los diferentes análisis llevados a cabo: cálculo general, verificaciones de pandeo y abolladura, fatiga y análisis dinámico (fig. 3). También, ha sido necesario el empleo de herramientas específicas de las tensoestructuras, como procesos de *form-finding*, para la obtención de la geometría intermedia durante las fases de montaje y la geometría final del sistema de cables.

El sistema de suspensión mediante cables trabaja como una tensoestructura radial, generada alrededor del mástil. El conjunto de los cables mantiene la forma gracias a la tracción, mientras que el anillo periférico está sometido a compresión (fig. 4) [2]. La geometría final del sistema de cables se obtiene para el estado permanente, en el caso de que existan sobrecargas asimétricas se producirá un incremento de tracción en los cables cercanos a la diagonal de la sobrecarga, compensado con una reducción de tracción en los contrarios. Estas cargas asimétricas producen un movimiento en la punta del mástil de 4 mm como máximo. Las fuerzas horizontales en la base del mástil se transmiten a la losa inferior del anillo de retenida, compensándose en parte con las introducidas en este por los cables, las no compensadas se transmiten al suelo por rozamiento.

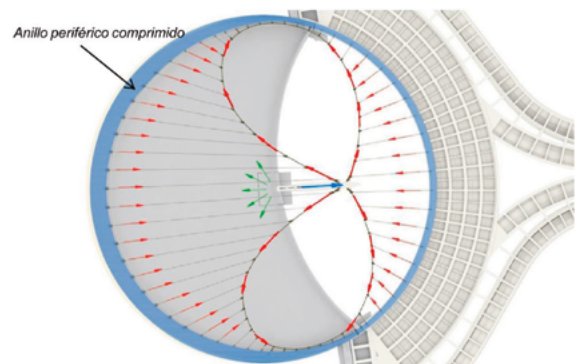


Figura 4. Esquema general de cargas.

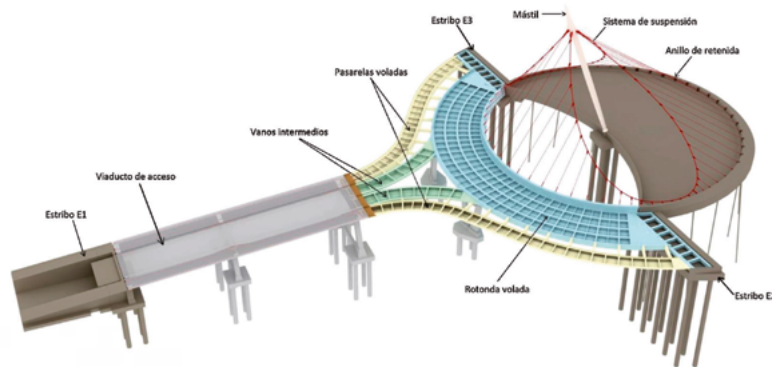


Figura 5. Esquema de definición de las diferentes partes de la estructura.

Las deformaciones provocadas por los efectos térmicos obligan a disponer unas rótulas de eje vertical en la unión entre la viga interior de la rotonda y el anillo de contrapeso, de forma que queden liberados los giros de eje vertical pero garantizando en todo momento la transmisión del axil de compresión.

4. CONSTRUCCIÓN

La construcción del puente ha consistido en cuatro fases principales. La primera corresponde a la ejecución de las cimentaciones, pilas, estribos y anillo de retenida. La segunda consiste en la construcción del viaducto de acceso, hormigonado *in situ* sobre cimbra. En la tercera fase se realiza el montaje de la estructura metálica, dividida en diferentes tramos colocados sobre apeos provisionales. La última fase corresponde a la instalación del mástil y del sistema de suspensión, tesado en cinco escalones hasta alcanzar la carga objetivo.

Se describe a continuación cada uno de los elementos que componen la estructura y las labores llevadas a cabo durante su construcción (fig. 5).

4.1. Estribos

El estribo E1 sirve de apoyo al primer vano del viaducto de acceso. Es cerrado, con sección maciza de hormigón armado, y está cimentado de forma profunda mediante 8 pilotes

de 0,85 m de diámetro. Su cara frontal reproduce la misma geometría de las pilas P1 y P2. El muro de acompañamiento mantiene a su vez la geometría de las aceras voladas del viaducto de acceso mediante dos voladizos laterales (fig. 6).

Los estribos E2 y E3 sirven de apoyo al tablero de la rotonda, resolviéndose con dos cargaderos cimentados mediante pilotes de 0,85 m de diámetro. La rotonda se empotra a flexión en su apoyo sobre los estribos para reducir las deformaciones y mejorar su comportamiento dinámico, requiriéndose dos filas de 6 pilotes en cada uno de ellos. El empotramiento se materializa mediante unas riostras en las que se instalan unos topes deslizantes, realizados con unas rótulas cilíndricas de acero inox (fig. 7). La instalación de este sistema permite los desplazamientos de la rotonda en el plano horizontal, quedando así liberada frente a las deformaciones impuestas por los efectos térmicos. Los únicos puntos fijos de la estructura son las rótulas de eje vertical existentes en la unión entre viga interior de rotonda y anillo de retenida.

4.2. Pilas

Las pilas P1 y P2 sirven de apoyo a los vanos 1 y 2 del viaducto de acceso, estando formadas por una pareja de fustes inclinados de hormigón macizo con sección transversal variable (fig. 8). La cimentación se realiza mediante encepados de cuatro pilotes de 0,85 m de diámetro, unidos transversalmente mediante una viga riostra de hormigón.

Las pilas P3 y P4 dan apoyo a la rotonda en su viga exte-



Figura 6. Fotografías del estribo E1 y muro de acompañamiento.

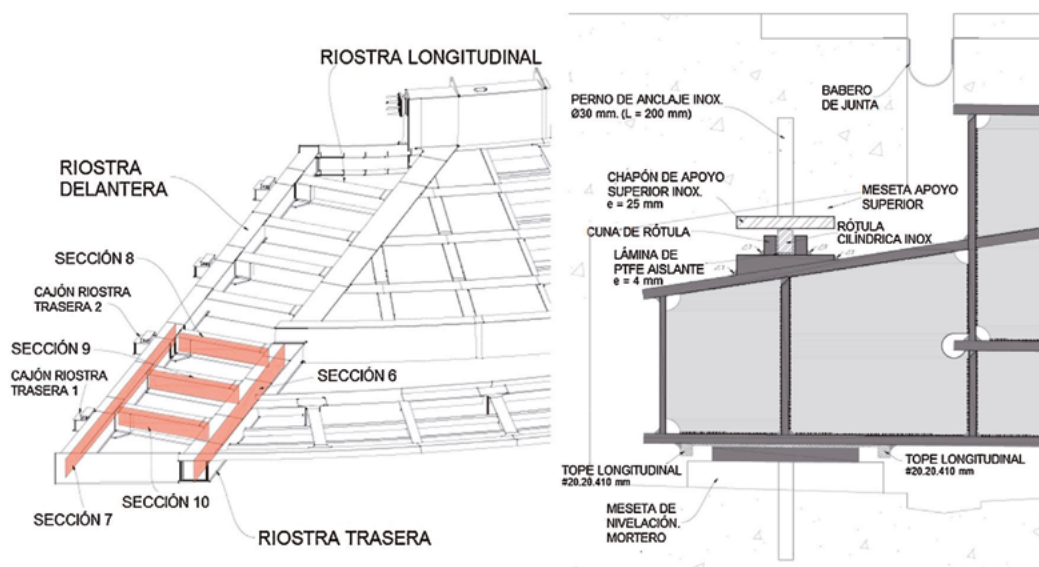


Figura 7. Esquemas del tope deslizante en el empotramiento de los estribos E2 y E3.



Figura 8. Fotografía de pilas P1 y P2.

rior, estando formadas por unos fustes de hormigón macizo en V con una riostra superior metálica (fig. 9). La cimentación se realiza mediante un encepado de tres pilotes de 0,85 m de diámetro.

4.3. Anillo de retenida

El anillo de retenida se dispone en el interior de la rotonda existente sobre el relleno de la zona superior del barrio de La Florida. Se realiza en hormigón macizo y tiene una sección variable para adaptarse a la inclinación de los cables que se anclan contra él (fig. 10). Se cimenta sobre micropilotes y se cierra interiormente mediante una losa de 30 cm. Esta losa sirve para cerrar el circuito de cargas y para conformar un recinto estanco que posteriormente se rellenará de agua, con la finalidad de que se genere un espejo natural.

4.4. Viaducto de acceso

El viaducto de acceso comienza en la zona del Parque del Oeste, en la rotonda elíptica que resuelve el flujo de tráfico en esa zona. Tiene una longitud de 42 m, divididos en dos vanos de 19 y 23 m. La anchura total del tablero es de 14 m, albergando dos carriles de 3,50 m y dos aceras laterales de 2,50 m. El resto de la anchura se destina a la barrera y la barandilla (fig. 11).

El viaducto de acceso se realiza completamente en hormigón *in situ* sobre cimbra (fig. 12). La sección transversal está compuesta por dos vigas cajón postesadas en ambos laterales, con un canto de 141 cm y conectadas entre sí por una losa de 22 cm de espesor.

La sección de las vigas laterales es triangular, confiriendo al tablero una gran esbeltez. Por encima de ellas discurren



Figura 9. Fotografía de pilas P3 y P4.



Figura 10. Fotografías del anillo de retenida.

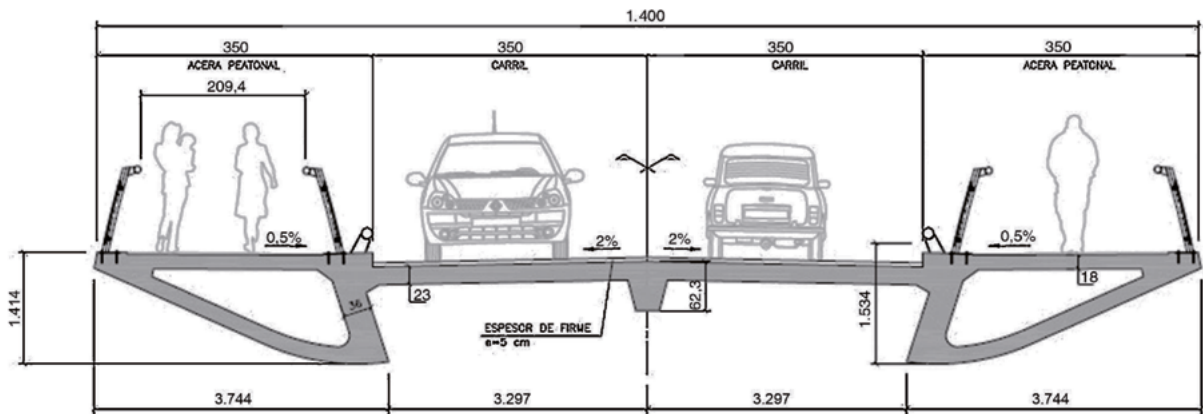


Figura 11. Sección tipo del tablero del viaducto de acceso.

las aceras peatonales, mientras que el tráfico rodado circula sobre la losa, que tiene un claro comportamiento transversal. En el extremo final del viaducto, sobre la pila P2, se dispone la conexión mixta, que sirve para hacer la transición entre el tablero de hormigón y los cajones mixtos que conforman los vanos intermedios. La solución adoptada asegura que la unión esté siempre comprimida, anclándose el pretensado del tablero contra estos elementos, de esta forma se garantiza la correcta transmisión de esfuerzos y se evita que se produzcan fisuras durante la vida útil.

4.5. Vanos intermedios

Los vanos intermedios conectan el viaducto de acceso con la rotonda volada, convirtiéndose en las rampas de entrada y salida de los vehículos a la rotonda. Está formado por dos tableros mixtos curvos independientes de 20 m de luz y empotrados en el viaducto y la rotonda (fig. 13). La sección de los tableros, que es trapezoidal, se debe adaptar a la variación de canto existente entre viaducto y rotonda, lo que hace que su fondo sea alabeado. La sección transversal, de



Figura 12. Cimbra y encofrado del viaducto de acceso.



Figura 13. Montaje de los vanos intermedios.

5,15 m de ancho, contiene un carril de 3,50 m, dos arcenes de 25 y 45 cm, y 45 cm a cada lado para la implantación de la barrera. Los tableros se fabricaron y trasladaron a obra en un solo tramo, y se montaron con el uso de grúas apoyándose sobre la conexión mixta, un apeo provisional intermedio y la rotonda.

4.6. Rotonda volada

La rotonda volada constituye el núcleo principal del proyecto y se resuelve con un tablero mixto multicelular, con dos vigas cajón en los extremos y tres vigas en T interiores. La sección tiene una anchura de 10,88 m, conteniendo dos carriles de 4,50 m de ancho. La viga cajón interior es usada para materializar el cuelgue del tablero del sistema de cables, lo que se realiza por medio de orejetas soldadas al mismo. Esta viga es el elemento resistente principal frente a los esfuerzos de torsión generados por el tablero, y además, se rellena de hormigón para aumentar su resistencia, compensar los pesos y reducir las vibraciones. La viga exterior, de menores dimensiones, es usada para aumentar la rigidez

longitudinal del voladizo. Las vigas en T interiores mejoran la rigidez longitudinal, y se completan con otras vigas en T transversales a modo de diafragmas.

El tablero tiene un canto de 68 cm, del que 50 cm corresponden a la sección metálica y 18 cm para la losa superior (fig. 14).

El tablero de la rotonda se traslada a obra en diferentes tramos, ensamblándose *in situ* sobre bancada para montarse finalmente en tres conjuntos que se apoyan sobre 7 torres provisionales, las pilas P3 y P4, y los estribos E2 y E3.

4.7. Pasarelas

El tráfico peatonal queda separado del rodado a partir del final del viaducto de acceso, para lo que se disponen dos pasarelas que discurren paralelas al borde exterior de los vanos intermedios y de la rotonda, volando a una distancia aproximada de 2,40 m de ellos. El vuelo de las pasarelas se consigue gracias al empotramiento en los extremos y al apoyo mediante costillas en el borde exterior de la rotonda. La longitud desarrollada de las pasarelas es de 60 y 52 m,

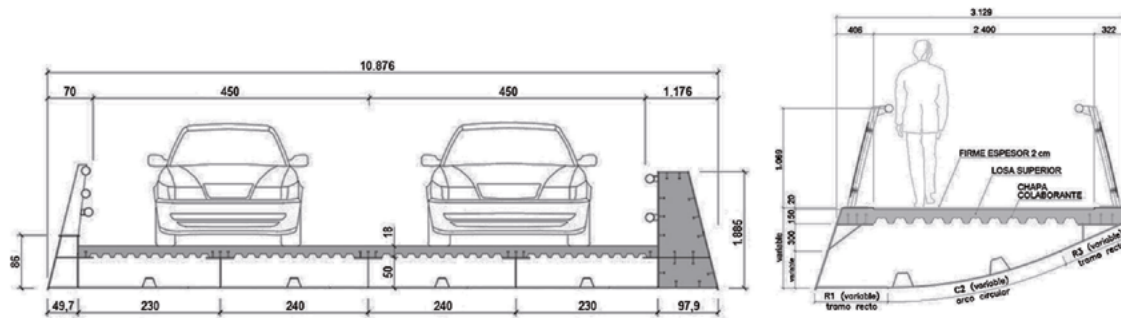


Figura 14. Secciones tipo de rotonda y pasarelas.

con un trazado en planta en S. La sección de la pasarela es mixta, y mantiene la sección triangular de la célula exterior del viaducto. Su anchura es de 3,13 m, con una calzada peatonal de 2,40 m. El canto varía de 1,34 m en la unión con el viaducto hasta 0,73 m en el apoyo en los estribos (fig. 14).

El montaje de la sección metálica de cada pasarela se divide en 4 tramos, colocándose sobre apeos mediante grúa. Una vez comprobada la geometría, y unidos los tramos mediante soldadura, se colocan las costillas de unión con la rotonda. La losa superior, de 15 cm de espesor, se hormigona *in situ* sobre chapas colaborantes a modo de encofrado.

4.8. Mástil

El mástil de 30 m de altura está realizado en acero, y se dispone con una inclinación de 21° hacia el Parque del Oeste, convirtiéndose en un hito que marca la dirección de movimiento del proyecto, desde el barrio de La Florida hasta el Parque del Oeste. La sección es circular y de 30 mm de espesor, variando desde un diámetro exterior de 75 cm en los extremos hasta 120 cm en su parte central. Está articulado

en su base mediante una rótula esférica, permitiendo por lo tanto el libre movimiento de la parte superior. En estado permanente las fuerzas que llegan al mástil a través de los lazos principales están equilibradas, y su resultante coincide con la posición inicial del mástil. En el momento en que la rotonda se somete a sobrecargas asimétricas la resultante cambiará de dirección y el mástil girará para alinearse con la misma.

El mástil se traslada a obra en una sola pieza, instalándose en su posición definitiva mediante una grúa, apoyándose de forma provisional en una torre de apeo. Durante el tesado de los cables, la rótula permanece bloqueada, por lo que los esfuerzos en el mástil se monitorizaron mediante galgas extensométricas para controlar que no se introdujeran esfuerzos de flexión en el mismo.

4.9. Sistema de suspensión

El sistema de suspensión da apoyo continuo al borde interior del tablero de la rotonda mediante tirantes anclados a través de mordazas a un par de cables principales de sus-



Figura 15. Vista superior de la estructura desde La Florida.

pensión. Los cables principales son cerrados, de 100 mm de diámetro, y tienen forma de lazo cerrado, anclándose ambos extremos en la punta del mástil. El sistema está formado por 21 tirantes de suspensión, de 36 mm de diámetro, y 27 tirantes de retenida de 32 mm de diámetro (fig. 15). Todos los cables son de tipo cerrado con hilos exteriores en Z para mejorar su protección frente a la corrosión.

El montaje de los cables supuso un gran reto, dividiéndose en cinco escalones para el control de la evolución tensional y geométrica del conjunto. Para ello fue necesario instalar galgas extensométricas en todos los cables y prismas de control topográfico en las mordazas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- [1] Artículo Conexión del barrio de La Florida con la C/Martinez Cachero en Oviedo. Puente de La Florida, VI Congreso ACHE, Madrid 2014.
- [2] J. Strasky, *Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges*, Thomas Telford Publishing, 2005, pp. 229 páginas, ISBN 07277 3282 X.