

Sobre la Senda Real (p.k. 6). Madrid

Rehabilitación estructural del puente de la A-6

Ernesto Serrano Játiva
Director Área Industrial IMESAPI

Resumen

Las estructuras de hormigón, en masa o armado, están sometidas a una amplia cantidad de agresiones que provocan potenciales daños y deterioros. Después de haber realizado una inspección principal a la estructura, para determinar el origen y las causas finales del deterioro, se deberá definir una estrategia adecuada de reparación y refuerzo. La selección de los materiales para realizar las reparaciones se hará de acuerdo a la Norma UNE EN-1504 y su aplicación deberá realizarse por personal especializado.

PALABRAS CLAVE: Puentes sobre la Senda Real, Ayuntamiento de Madrid, refuerzo y rehabilitación.

1. Introducción y antecedentes

La rehabilitación estructural de este puente se incluye dentro de las obras de recuperación del sendero GR 124 o Senda

Real impulsadas por la Asamblea de Madrid en 1990. Esta vía comunica la ciudad de Madrid (Palacio Real) con la Sierra de Guadarrama, pasando por el Monte del Pardo, Tres Cantos y Colmenar Viejo, para finalizar en Manzanares el Real.

La recuperación de la Senda Real se enmarca dentro del Plan Especial de la Ciudad Universitaria elaborado por el Ayuntamiento de Madrid y aprobado definitivamente en julio de 2000, y en cuyo desarrollo han participado junto con el Ayuntamiento las tres universidades presentes en el Campus, a través del Consorcio Urbanístico creado en 1990.

La justificación de la necesidad de reparación del puente se basó en la inspección realizada, en la cual se detectaron armaduras vistas y corrosión en las vigas centrales y extremas, filtraciones de agua en determinados puntos, fisuración en mapa del enfoscado, humedades y eflorescencias, y un avance importante de la carbonatación en determinados elementos resistentes (*fotos 1 y 2*).

En noviembre del 2008, la Dirección General de Vías y Espacios Públicos del Ayuntamiento de Madrid redactó el Proyecto de Rehabilitación del Puente de la A6 so-

bre la Senda Real. Dicho proyecto fue licitado y posteriormente adjudicado en marzo del 2009 a la empresa IMESAPI, S.A. Una vez analizada la solución propuesta se consideró por parte de la Dirección de Obra y el Departamento de Espacios Urbanos I proponer un modificado con una solución que fuese más respetuosa con el puente original, dado el carácter histórico del mismo y el marco general en el que se encuadra.

Con fecha 10 de agosto del 2009 se firmó el contrato del Modificado nº 1 del Proyecto de Rehabilitación del Puente de la A6 sobre la Senda Real.

2. Reseña histórica

El origen de la Senda Real data del siglo XV, cuando Enrique III de Castilla ordena construir un pabellón de caza en el bosque de encinas conocido como El Pardo. Ya en el siglo XX, el rey Alfonso XIII dona una importante extensión de terreno que pertenecía al Estado, de la finca de La Moncloa, situada en la zona noroeste de la capital, con la finalidad de albergar



los nuevos centros destinados a ser sede de la Universidad. Esa zona estaba relativamente retirada del núcleo urbano y emplazada en un promontorio que le confería unas condiciones ambientales propicias, cualidades paisajísticas excepcionales y un acceso fácil y próximo a la ciudad. Al proclamarse la Segunda República el proyecto continuó con un claro apoyo e impulso del nuevo régimen.

En 1916, la compañía del Tranvía del Este obtiene la concesión de una línea desde la Escuela de Agricultura hasta el Club de Puerta de Hierro, que se inauguró el 26 de noviembre del mismo año. En el jardín existente delante de la Escuela de Agricultura, donde terminaban las líneas 27 y 34, había una raqueta para los tranvías con remolque y desde allí, por vía única y bajando una fuerte pendiente hasta el Arroyo de Cantarranas, pasaba por delante del Palacete de la Moncloa, hasta el Paseo Prado del Rey, que iba junto a la carretera de La Coruña; allí con doble vía atravesaba la Granja de Castilla la Nueva y seguía hacia el norte cruzando el Arroyo de las Damas y el Estanque de las Damas, hasta penetrar en el Monte del Pardo, donde moría.

Durante el verano de 1932, y debido a las obras de la Ciudad Universitaria, se reforma el trazado de la línea debido a que habría tenido que cruzar varias veces la Avenida Principal de la Ciudad Universitaria; la nueva línea era doble en todo su recorrido, tenía curvas con mayor radio, suaves pendientes y no tenía pasos a nivel. Arrancaba de la plaza de la Moncloa por el lado izquierdo de la Av. Principal de la Ciudad Universitaria y, bordeando el Parque del Oeste, llegaba a los campos de deportes que contorneaba hasta entrar en la estación cubierta del *stadium*, que aprovechaba el talud del terreno (*plano 1*).

A la salida, la línea se bifurcaba en dos

ramas: una hacia el interior de la Ciudad Universitaria, que no llegó a construirse; y la otra por el campo cruzaba el arroyo de Cantarranas por el Vialto del Aire. Desde el Jardín del Barranco se veían pasar los tranvías entre las copas de los viejos árboles que crecían en el fondo del barranco; luego cruzaba la Avenida Principal de la Ciudad Universitaria en las proximidades del Estanque y la Fuente de las Damas hasta morir en el Monte del Pardo. El trayecto lo cubrían la línea 41, que llegaba hasta Puerta de Hierro, y la 21 que llegaba hasta los campos de deporte, sustituyendo a la 27.

La estación de Fuente de las Damas, objeto de la presente rehabilitación, fue proyectada por Eduardo Torroja Miret en 1932 y constituía uno de los pasos inferiores bajo la entonces denominada Avenida de Puerta de Hierro. Se construyó para evitar el cruce a nivel con una de las principales salidas al tráfico madrileño de la época. Se proyectó con anchura suficiente para dos calzadas con dos carriles de tráfico lento en cada sentido y dos de tráfico rápido. Este paso inferior daba continuidad no sólo al llamado Camino Bajo, que discurría por la zona arbolada y ajardinada de Ciudad Universitaria, sino que también servía de cruce al tranvía de Puerta de Hierro, dando lugar a la llamada estación Fuente de las Damas, por estar junto a esa antigua fuente en el Pinar de Puerta de Hierro.

Según la descripción de la Revista de Obras Públicas de 1935, la estructura está compuesta por "forjados y vigas de hormigón armado, formando dos luces de 13 m, separadas entre sí por una línea de pilares también de hormigón. La gran oblicuidad de este paso, unido a la gran anchura de la vía,



Foto 1



Foto 2

hace que la obra resulte de una longitud de 50 m; pero a pesar de ello, la doble calzada y la esbeltez de los pilares intermedios bastan para disimular bastante el efecto de túnel que siempre representan los pasos de esta longitud. Los terraplenes, al acometer contra la obra, están contenidos por pantallas verticales de hormigón, formando grandes ménsulas empotradas en la zapata de cimentación y separadas unas de otras por medio de juntas verticales, para evitar los agrietamientos debidos a los efectos de torsión que siempre tienen lugar en estas pantallas, tanto por efecto de la desigual altura



Plano 1



Foto 3



Foto 6

de la cimentación como por la coacción que establece la rigidez del ángulo de esquina de la pantalla de contención”.

3. Solución estructural propuesta para el refuerzo

3.1. Descripción general

La razón del refuerzo no es un comportamiento inadecuado de la estructura, sino consecuencia de haberse proyectado previsiblemente con la norma de acciones de 1925, con cargas inferiores a las de la vigente instrucción (IAP-98).



Foto 4



Foto 7

Se trata de un puente esviado (aunque la planta del tablero presenta una distribución recta de los nervios, con las vigas extremas constituyendo el esviaje). Son dos vanos hiperestáticos constituidos por 15 vigas de canto variable.

La luz libre en ambos vanos es de 9,0 m y tiene un ancho de 48,3 m, aunque existe una junta longitudinal entre las vigas nº 7 y nº8 que tiene continuidad en las pilas y estribos, que convierte la estructura en doble (plano 2).

Las vigas de los dos vanos tienen directriz recta, son de hormigón armado y están ejecutadas in situ. Están arriostradas transversalmente en las cabezas sobre los



Foto 5

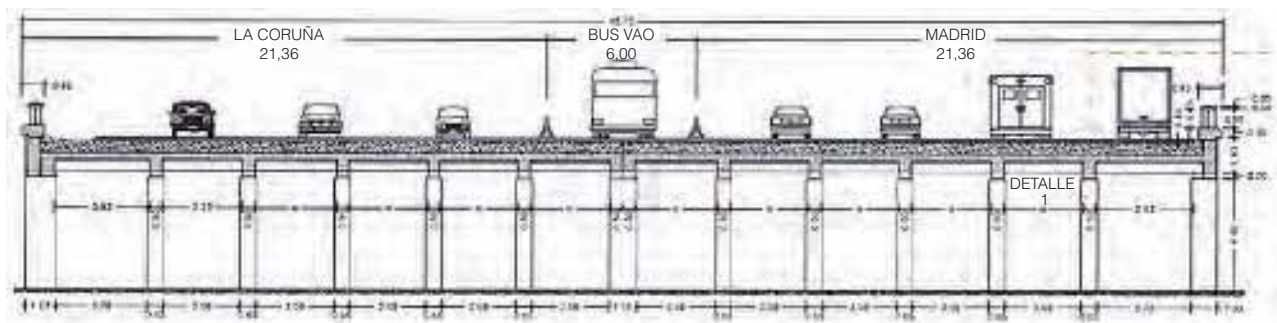
estribos y la pila, siendo todas las riostras de hormigón armado.

La sección es rectangular y el canto aumenta linealmente de 0,5 m a 0,7 m en los 80 cm más próximos a la pila y los estribos, donde quedan empotradas. Sobre las vigas hay una losa de hormigón armado de 25 cm de espesor, colaborante a todos los efectos con las vigas descritas.

El hormigón empleado en la estructura, según las auscultaciones previas realizadas, presenta áridos rodados de hasta 80 mm y acero en barras lisas de diámetros variables.

Los dos estribos están constituidos por un muro de frente de hormigón armado de 1 m de espesor con aletas laterales del mismo material. En cuanto a la pila, están compuestas de 14 fustes prismáticos de sección cuadrada, con un revestimiento exterior de placas de ladrillo cubiertas por un enfoscado. Este enfoscado también reviste los paramentos de los estribos y las caras laterales e inferior del tablero.

En el centro de la estructura, existe una junta de construcción entre las dos calza-



SECCION B-B
(TODAS LAS COTAS ESTÁN EN METROS)

Plano 2



Foto 8

das superiores. Ésta asciende verticalmente por el centro del muro de frente de ambos estribos hasta llegar al forjado; continúa por éste entre las vigas centrales (nº 7 y nº 8) hasta llegar a la pila, y desciende verticalmente entre los fustes nº 7 y nº 8 de la pila. Aunque estos dos fustes están separados por la junta, comparten el revestimiento exterior.

En lo tocante a la elección del tipo de refuerzo, se propone la solución de fibra de carbono que aporta las siguientes ventajas:

- Elevada capacidad resistente con poco material.
- Adaptable a las irregularidades y geometría variable de la estructura gracias a su flexibilidad.
- Apta para refuerzos de flexión y cortante.
- Avalada por documentación técnica de aplicación (FIB *Bulletin* 14).
- Solución empleada con éxito en obras similares.
- Facilidad de ejecución respecto a otras opciones de refuerzo.

3.2. Refuerzo propuesto

Una vez realizado el cálculo, el refuerzo propuesto fue el siguiente:

- Vigas a flexión: una capa de fibra de carbono de Replark* 30 o similar en todo lo ancho de la viga (50 cm) y en toda la longitud del vano y otras 2 capas a añadir sobre la anterior, también del tipo Replark 30 o similar, en una banda centrada de 6 metros de longitud. Esta solución es igual para todas las vigas.



Foto 9



Foto 11



Foto 10



Foto 12

- Vigas a cortante: dos capas fibra de carbono de Replark MM2 o similar en forma de U (salvo las vigas centrales que será en L) en toda la longitud el vano y otra adicional, también del tipo Replark MM2 en toda la longitud de la viga.
- Riostras: una capa de Replark 30 o similar de 50 cm de anchura en toda la longitud de la viga para el refuerzo a flexión y una capa en forma de U para el refuerzo a cortante de Replark MM2 en toda la longitud de la viga.
- Estribos: refuerzo de hormigón proyectado de 15 cm sobre anclajes de acero pasivo B 500-S en la conexión de las vigas con el estribo.
- Pilas: 10 cm de hormigón proyectado sobre armadura pasiva B500-S.

4. Ejecución de la obra

Además del refuerzo estructural antes comentado, se han realizado toda una serie de operaciones adicionales necesarias para completar la rehabilitación del puente y que por orden de ejecución se describen a continuación.

4.1. Saneamiento, demoliciones y limpiezas

El primer paso en la ejecución de las obras fue la realización de las demoliciones

y saneamientos de los diferentes elementos estructurales del puente. Además, con el objeto de intentar disminuir las filtraciones por la junta central se procedió al corte del Bus-Vao y los carriles rápidos de la A6 para sanearla e impermeabilizarla desde la calzada superior (fotos 3, 4 y 5).

En los alzados del puente se procedió al picado y retirada de los aplacados existentes, así como en las pilas (fotos 6 y 7).

Al descubrir los aplacados y enfoscados se encontraron varias zonas en los que el hormigón presentaba nidos de grava y la armadura defectos de hormigón (fotos 8, 9 y 10).

4.2. Reparación de elementos de hormigón

Previamente a aplicar el refuerzo de fibra de carbono fue necesario preparar las superficies de las vigas a fin de obtener una geometría apta para el buen funcionamiento del sistema, como determinan las recomendaciones al respecto. Se utilizó un mortero epoxídico para el relleno de los huecos y zonas a sanear, hasta alcanzar la geometría requerida. Asimismo se procedió al chorreo con arena de las armaduras y su posterior pasivación para prevenir la corrosión (fotos 11 y 12).

(*) Sistema de reparación y refuerzo estructural con hojas de fibra de carbono de alta resistencia y resinas epoxi.



4.3. Refuerzo estructural

Como se ha comentado en el apartado anterior, el refuerzo consta de dos partes fundamentales con sistemas diferentes. Por un lado, en las vigas y riostras se dispuso un refuerzo tanto a flexión como a cortante con fibra de carbono unidireccional, mientras que en pilas, se ejecutó una proyección sobre armadura pasiva (*fotos 13 a 20*).

4.4. Drenaje y desagües

En el apartado 4.1 se ha comentado que una de las actuaciones fundamentales ha sido la reparación de la junta central desde la zona superior del tablero, a fin de intentar disminuir las filtraciones que se producían a través de ella.

Los otros elementos donde se ha actuado, han sido los antiguos alojamientos

del alumbrado original del puente situados al tresbolillo en la zona inferior del tablero, y que eran puntos por donde se filtraba el agua escurriendo por ese paramento para afectar al hormigón de su entorno. Por ello, el proyectista propuso la ejecución de unos picos de pato que evitasen esa situación. En la ejecución se cuidó especialmente que se sellasen tanto superior como inferiormente los extremos de los tubos para que funcionase correctamente (*fotos 21 y 22*).

5. Datos significativos de la obra

Título de la obra: Rehabilitación del puente de la A-6 sobre la Senda Real.

Expediente: 132/2009/00025

Localización: Comunidad de Madrid. Madrid. Paso inferior de la A-6, p.k. 6.

Promotor: Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Obras y Espacios Públicos.

Director de la Obra: D. Luis Miguel Abad Pérez (I.C.C.P.)



Foto 22

Jefe de Obra: D. Jorge Moreno Mateos.

Empresa adjudicataria: IMESAPI, S.A.

Empresa Consultora del Proyecto Modificado: ALEPH Consultores.

Plazo de ejecución: 4 meses.

Presupuesto de inversión (IVA incluido): 448 211,70 €

Materiales empleados:

- Fibra de carbono unidireccional en flexión: 310 m²
- Fibra de carbono unidireccional en cortante: 865 m²
- Hormigón proyectado en pilas: 20 m³
- Armadura B-500 de refuerzo en pilas y estribos: 2 250 kg.
- Anclajes de armadura: 1 170 uds.
- Pintura anticarbonatación: 2 100 m²

6. Bibliografía y fuentes consultadas

- Revista de Obras. 1935. Tomo I.
- Carlos López Bustos. Tranvías de Madrid. 1998.
- Universidad Complutense de Madrid. Unidad de Información Científica.
- Proyecto de Rehabilitación del Puente de la A-6 sobre la Senda Real.
- Consorcio Urbanístico de Ciudad Universitaria. ❖