

Rehabilitación del puente de la A6 sobre la Senda Real. Estación de tranvía Fuente Las Damas

Rehabilitation of the A6 bridge over the Senda Real. Fuente de las damas tram station

Luis Miguel Abad Pérez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. UPM
Dirección General de Vías y Espacios Públicos. Ayuntamiento de Madrid. lmap3369@gmail.com

Resumen: La rehabilitación del puente de la A6 sobre la Senda Real, ha pretendido conjugar el respeto por una estructura histórica proyectada por Eduardo Torroja Miret en 1932, y la aplicación de un sistema mediante láminas de fibra de carbono que, por un lado, fuese compatible con la vigente instrucción de acciones de puentes, y por otro, permitiese conservar al máximo la fisonomía original del mismo.

Palabras Clave: Eduardo Torroja Miret; Fibra de carbono; Estación de tranvía Fuente de las Damas

Abstract: The rehabilitation of the A6 motorway bridge over the Senda Real (Royal Footway), has attempted to respect this historic structure designed by Eduardo Torroja Miret in 1932 by applying a carbon fibre laminate system compatible with current standards on actions and loads on bridges and which does not unduly affect the original form of the same.

Keywords: Eduardo Torroja Miret; Carbon fibre, Fuente de las Damas Tram Station

1. Introducción

El puente objeto de rehabilitación fue proyectado por Eduardo Torroja Miret en 1932 y está situado en la A6 sobre la Senda Real (P.K. 6 de la A6, Madrid). Las obras llevadas a cabo se enmarcaron dentro de la actuación de recuperación de esta vía, que 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 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.

En el transcurso del año 2009 el Ayuntamiento de Madrid licitó y ejecutó el Proyecto de Rehabilitación del Puente de la A6 sobre la Senda Real, dentro del marco general de las actuaciones contempladas por el consistorio municipal en el Fondo Estatal de Inversión Local (FEIL).

La solución estructural propuesta para la reparación debía contemplar dos premisas fundamentales. Por un lado, que fuese respetuosa con el puente original, dado el carácter histórico del mismo y el marco en el que se encuadra, y por otro, que fuese capaz de cumplir las acciones contempladas en la vigente Instrucción de Acciones de Puentes.

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, situado en la zona noroeste de la capital, con la finalidad de albergar los nuevos centros destinados a ser sede de la Universidad.

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



Detalle de tablero. Vigas centrales con armadura corroída. A la derecha, detalle de encuentro de tablero con pilas centrales. Problemas de filtración bajo la junta de dilatación.

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, en donde moría.

Durante el verano de 1932, y debido a las obras de la Ciudad Universitaria, se reforma el trazado de la línea tranviaria debido a que de otro modo habría tenido que cruzar varias veces la Avenida Principal de la Ciudad Universitaria. La nueva línea era doble en todo su recorrido, disponía de curvas con mayor radio, suaves pendientes y sin 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.

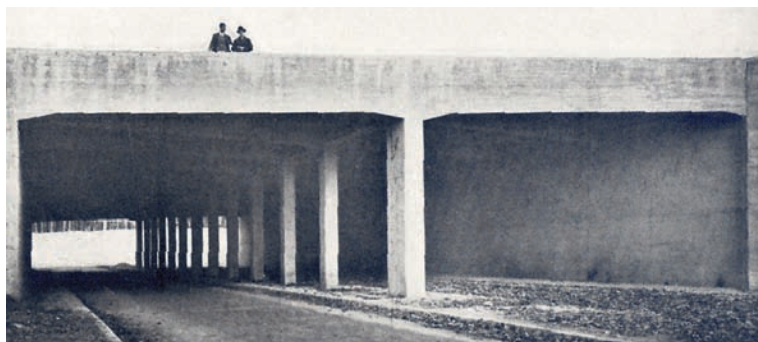
A la salida, la línea se bifurcaba en dos ramas: una hacia el interior de la Ciudad Universitaria, que no llegó a construirse, y la otra por el campo que cruzaba el arroyo de Cantarranas por el Viaducto del Aire. Desde el Jardín del Barranco se veían pasar los tranvías por en-

tre 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 deportes, sustituyendo a la 27.

La estación 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. Este paso inferior daba continuidad no solo al llamado Camino Bajo, que discurría por la zona arbolada y ajardinada de Ciudad Universitaria, sino 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 alineación de pilares también de hormigón. La gran oblicuidad de este paso, unido a la gran anchura de la vía, 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 de la cimentación como por la coacción que establece la rigidez del ángulo de esquina de la pantalla de contención".

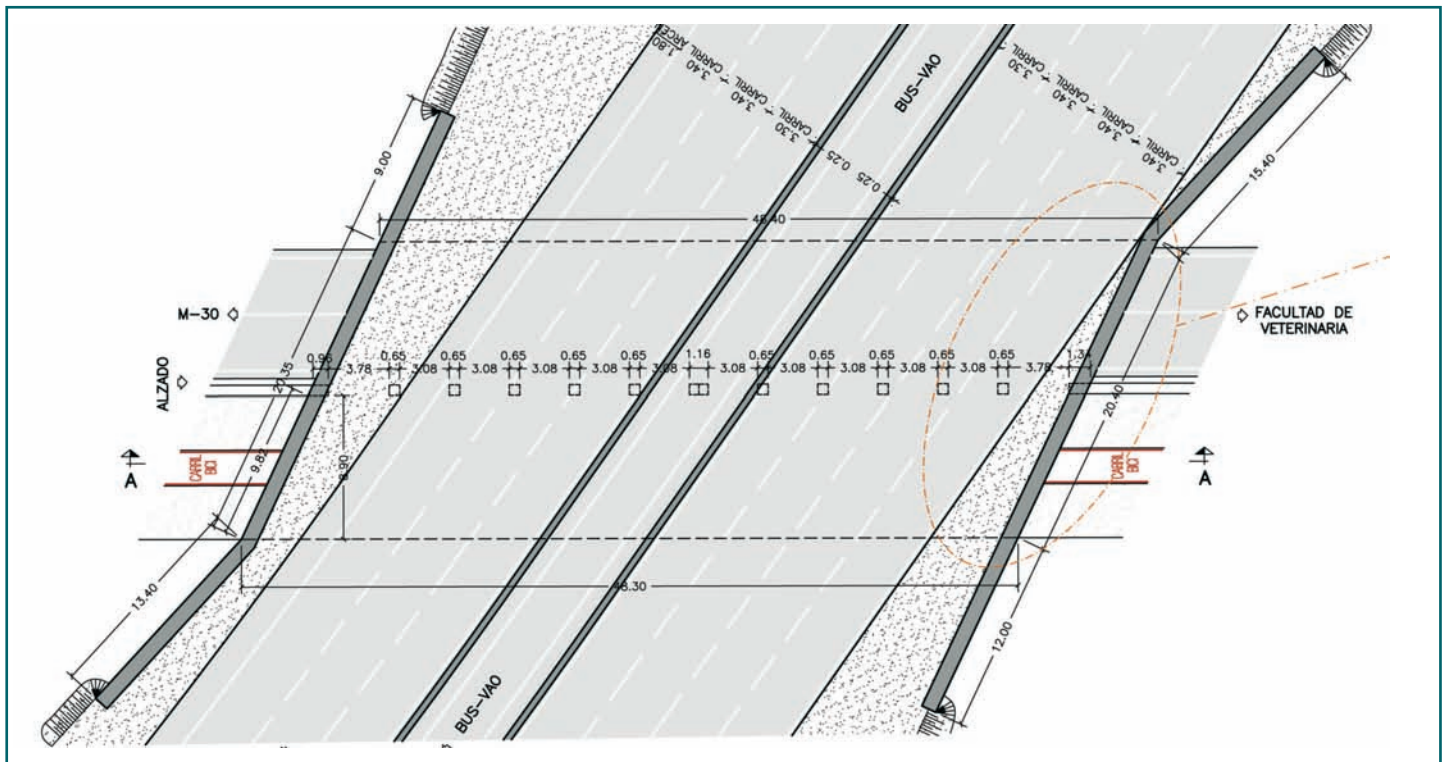
Fuente:
ROP 1935.



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), y su estado de conservación.



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.

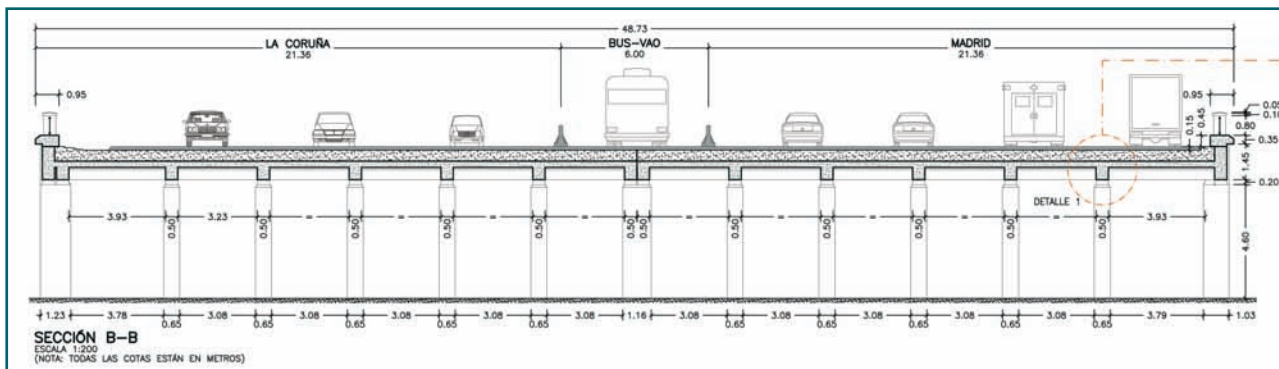
La luz libre en ambos vanos es de 9,0 m y tiene un ancho de 48,3 m, aunque existe una junta longitudinal entre las vigas nº 7 y nº 8 que tiene continuidad en las pilas y estribos, que convierte la estructura en doble.

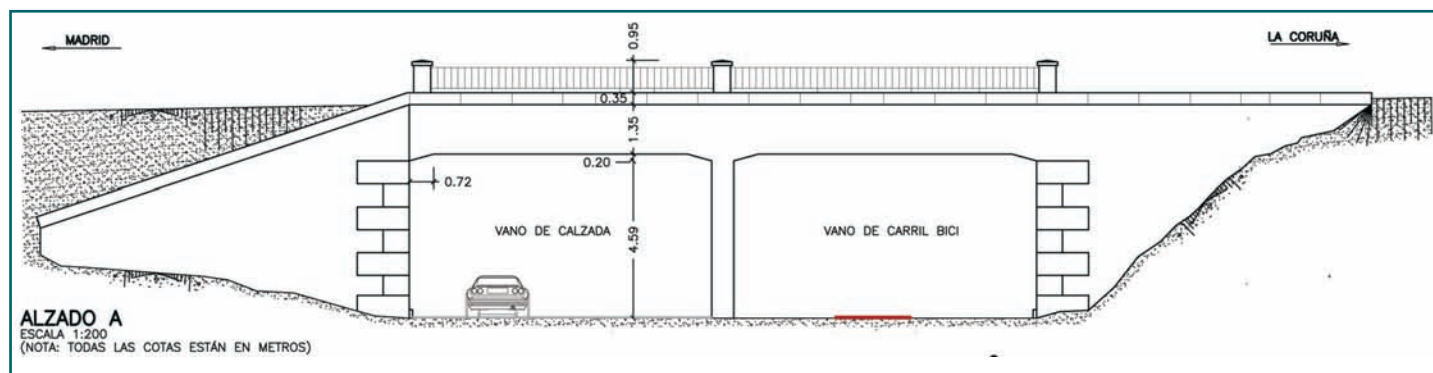
Las vigas de los dos vanos tienen directriz recta, son de hormigón armado y están ejecutadas in situ. Están arriostradas transversalmente en las cabezas sobre los estribos y la pila, siendo todas las riostras de hormigón armado.

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 antes 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 las pilas, 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, hay una junta de dilatación entre las dos calzadas 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 descende 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 propuso la solución de fibra de carbono ya que aportaba 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 300 gr/m² con módulo de elasticidad de 230.000 MPa en todo lo ancho de la viga (50cm) y en toda la longitud del vano y otras 2 capas a añadir

sobre la anterior, también del mismo tipo, en una banda centrada de 6 metros de longitud. Esta solución fue igual para todas las vigas.

- Vigas a cortante: dos capas fibra de carbono de 300 gr/m² con módulo de elasticidad de 440.000 MPa en forma de U (salvo las vigas centrales que fue en L) en toda la longitud del vano y otra adicional, también del mismo tipo, en los 2,5 metros extremos de cada viga. Esta solución fue igual para todas las vigas.
- Riostras: una capa de fibra de carbono de 300 gr/m² con módulo de elasticidad de 230.000 MPa 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 fibra de carbono de 300 gr/m² con módulo de elasticidad de 440.000 MPa 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 B 500-S.

4. Ejecución de la obra

Además del refuerzo estructural antes comentado, se realizaron 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 limpieza

El primer paso en la ejecución de las obras fue la realización de las demoliciones y saneos de los dife-



Detalles de ejecución de la impermeabilización de la junta central desde la A6.

rentes 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.

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

Al descubrir los aplacados y enfoscados se encontraron varias zonas en los que el hormigón presentaba nidos de grava y la armadura defectos de corrosión.

4.2. Reparación de elementos de hormigón

Previamente a aplicar el refuerzo de fibra de carbono fue necesario preparar las superficies de



Detalle de pila con el aplacado.



Detalle de aplacado en el alzado del puente.



Detalle de pilas centrales.



Detalle de nido de grava picado en estribo.



Detalle de las vigas centrales en la zona de la junta de la estructura



Detalle de armadura pasivada después de chorreado.



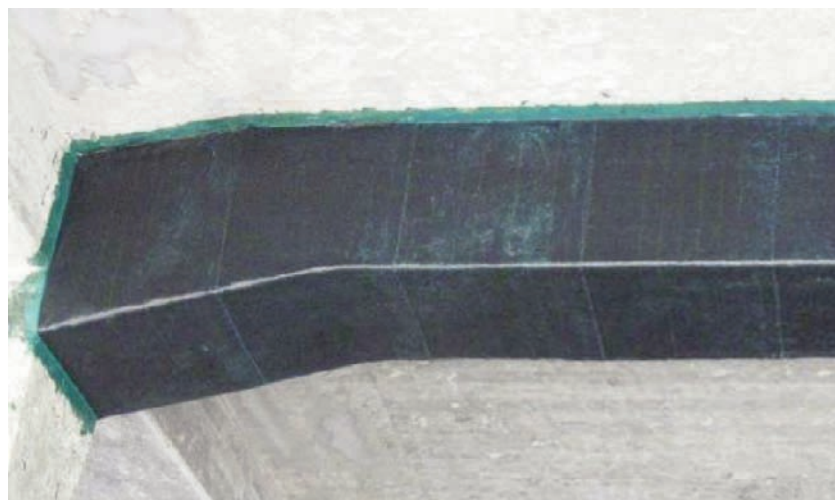
Detalle de vigas preparadas para refuerzo con fibra de carbono.



Detalle de aplicación de refuerzo a flexión.



Detalle de refuerzo a flexión colocado.



Detalle del refuerzo a cortante colocado en zona de estribo.



Detalle de refuerzo de pilas y encuentro con estribos.



Detalles de drenaje en el tablero del puente.



las vigas a fin de obtener una geometría apta para el buen funcionamiento del sistema, tal y como determinan las recomendaciones al respecto. Se utilizó un mortero epoxídico para el relleno 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.

4.3. Refuerzo estructural

Tal y 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 un proyectado sobre armadura pasiva.

4.4. Drenaje y desagües

En apartados anteriores 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 drenes en picos de pato que evitasen esa situación. En la ejecución se cuidó especialmente que se sellase tanto superior como inferiormente los extremos de los tubos para que funcionase correctamente.



Vista del alzado del puente una vez concluida la rehabilitación.

Vista de la estructura desde su interior una vez concluida la rehabilitación.



Datos significativos de la obra

Título de la obra: Rehabilitación del puente de la A6 sobre la Senda Real.
Localización: Comunidad de Madrid. Madrid. Paso inferior de la A6 P.K. 6.
Promotor: Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Obras y Espacios Públicos.
Director de Obra: Luis Miguel Abad Pérez (I.C.C.P.) UPM.
Jefe de Departamento de Espacios Urbanos I: Raúl Toribio Rubio (I.C.C.P.) UPM.
Subdirector General de Espacios Urbanos: José Miguel Baena Rangel (I.C.C.P.) UPM.
Empresa adjudicataria: IMESAPI, S.A.
Empresa Consultora del Proyecto Modificado: ALEPH Consultores.
Empresa suministradora de la fibra de carbono: DRIZORO (MITSUBISHI).
Plazo de ejecución: 4 meses.
Presupuesto de inversión (I.V.A. incluido): 448.211,70 euros.
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.

Referencias :

-Revista de Obras. 1935. Tomo I.
-Carlos Bustos. Tranvías de Madrid. 1998.

-Universidad Complutense de Madrid. Unidad de Informática Científica.
-Proyecto de Rehabilitación del Puente de la A6 sobre la Senda Real.
-Consortio Urbanístico de Ciudad Universitaria.

