

PRIMERAS EXPERIENCIAS CON MATERIALES COMPUESTOS BASADOS EN POLÍMEROS COMO ALTERNATIVA AL HORMIGÓN

Puentes de plástico

BEATRIZ RODRÍGUEZ LÓPEZ

FOTOS: ACCIONA INFRAESTRUCTURAS

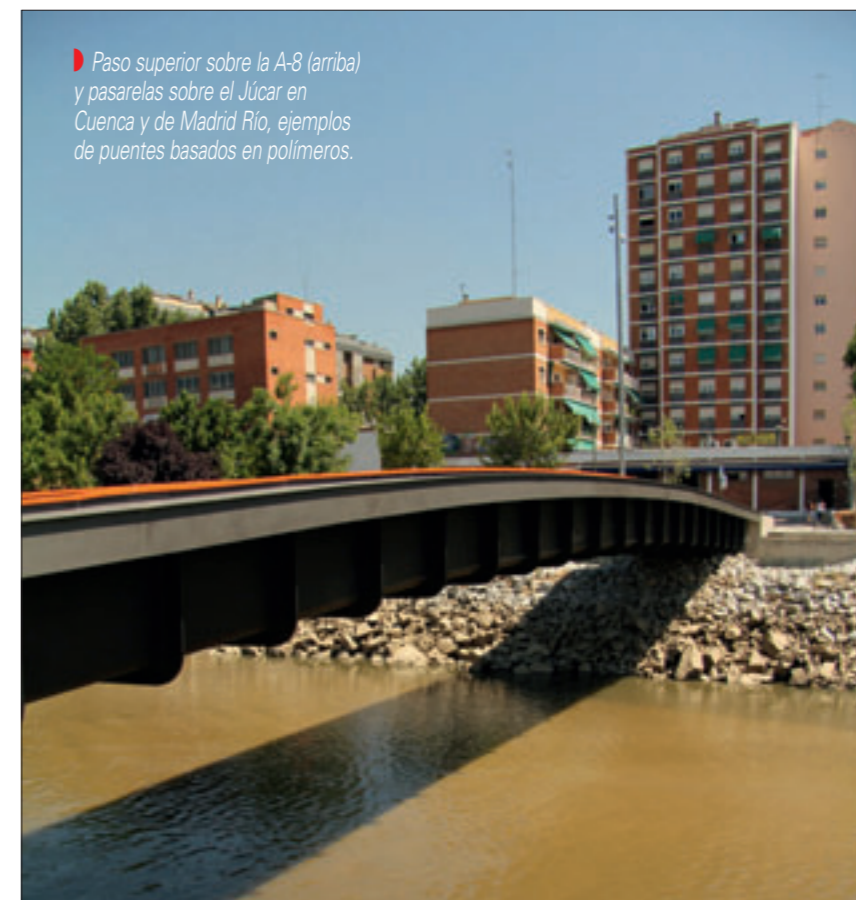
Los materiales compuestos basados en polímeros reforzados con fibras, empleados en la industria aeronáutica desde la década de los sesenta, han comenzado a utilizarse en el siglo XXI en ingeniería civil. Desde la construcción pionera de un puente de polímeros en Asturias en 2004, la industria contempla ahora estos proyectos de I+D+i como realidades tangibles, que ha plasmado en pasarelas similares en Madrid y Cuenca. Sus materiales inertes frente a los ataques químicos exhiben una alta durabilidad en ambientes agresivos y son más resistentes y ligeros que los materiales tradicionales, por lo que permiten construir estructuras de menor espesor y aumentar la distancia entre apoyos.

El empleo de materiales propios del sector aeronáutico ha comenzado a aplicarse en ingeniería civil.

Esta incursión tuvo como fecha de salida el mes de mayo de 2003, cuando el Ministerio de Fomento aprobó la construcción de un paso superior sobre la autovía del Cantábrico (A-8) en Asturias fabricado con materiales poliméricos. El paso superior, de 46 metros de longitud, debía ser puesto en servicio en abril de 2004, lo que suponía que la es-

tructura tendría que ser proyectada y construida en menos de un año. Y así fue.

El puente fue proyectado y construido por el departamento de I+D+i de Necsó Entrecanales Cubiertas (la actual Acciona). Esta estructura ha servido como referencia para posteriores obras en España, teniendo en cuenta que los materiales compuestos se van integrando poco a poco en la construcción de puentes y otras obras de ingeniería civil. Ejemplo de ello son la pasarela peatonal y ciclista en el



► Paso superior sobre la A-8 (arriba) y pasarelas sobre el Júcar en Cuenca y de Madrid Río, ejemplos de puentes basados en polímeros.



Colocación de las vigas sobre los pilares y estribos en el paso superior de la autovía del Cantábrico en Asturias.

parque Madrid Río y la pasarela sobre el río Júcar en la ciudad de Cuenca, ambos proyectos premiados en 2011.

El puente en Asturias es el primero que se construye en España con polímeros reforzados con fibra de carbono y, al menos hasta ese momento, el más largo del mundo. Los puentes de carretera construidos en otros países con similares materiales tienen luces de una longitud igual o inferior a 12 metros. En este caso se alcanza una luz máxima de 13 metros.

Descripción

El puente, de 46 metros de longitud, es recto, tiene una pendiente del 2% y consta de cuatro vanos (dos centrales de 13 metros y dos laterales de 10). El ancho total del tablero es de 8 metros y está constituido por tres vigas

continuas de fibra de carbono en forma de artesa, conectadas a una losa superior de hormigón armado. También de hormigón son sus tres pilas, de una altura superior a 6,5 metros.

La construcción, ubicada en el tramo Vegarrozadas-Soto del Barco de la A-8 (P.K. 1+640), consta de cinco grupos de elementos estructurales. El primero de ellos es la propia losa superior del tablero, formada por una losa de hormigón armado de 20 centímetros de espesor con un mallazo superior e inferior formado por redondos de diámetro 16 milímetros espaciados cada 20 centímetros.

El siguiente elemento lo constituyen tres vigas cajón de sección trapezoidal, con unas dimensiones de 1,2 metros en su parte superior y 0,8 metros de base y canto. Las almas son de fibra de carbono y un es-

pesor de 9 milímetros. El ala superior está formada fibra de carbono de 8 mm de espesor, mientras que el ala inferior, formado también por fibra de carbono, tiene un espesor de 18 milímetros. La sección de la viga está rellena de poliuretano.

Cada viga tiene cinco diafragmas verticales, uno en cada apoyo para poder transmitir los esfuerzos a las pilas. Además de estos diafragmas verticales de apoyo, existen dos diafragmas horizontales entre cada diafragma vertical de apoyo. Estos diafragmas horizontales refuerzan la zona de compresiones para evitar inestabilidades por abolladura.

Por su parte, las pilas son de hormigón armado, de sección rectangular de 2 x 0,6 metros, terminando en un capitel rectangular de 8 x 0,6 metros que recoge todas las vigas.

El último elemento estructural lo componen los estribos, también de hormigón armado tradicional, ajustando su diseño a los esfuerzos del tablero.

Batería de ensayos

Para caracterizar los materiales, comprobar los modelos de cálculo y buscar los mejores sistemas de fabricación se realizó una batería de ensayos en los elementos estructurales que componen la infraestructura: ensayos de caracterización de materiales, de conectores, de uniones, de abolladura, de envejecimiento y ensayos a escala.

En la fase inicial del proyecto era imprescindible esa caracterización de los materiales y en estos ensayos se conocieron sus propiedades mecánicas, variando la dirección de las fibras y su material.



Fabricación de una de las vigas (arriba) y prueba de carga sobre el paso superior asturiano (debajo).

Una vez definidos los materiales y diseñada la configuración óptima, se llevaron a cabo ensayos de los sistemas de conexión entre los elementos de fibra y los de hormigón. Se ensayaron diez sistemas de conexión diferentes. El sistema elegido fue un perfil en doble T de fibra de vidrio fabricado mediante el sistema de pultrusión pero con un diseño especial, eliminando hilo longitudinal e introduciendo tejido de fibra de vidrio resistente al pH del hormigón.

Para unir adecuadamente los tramos de vigas se realizó un diseño de unión exclusivamente químico, sin necesidad de emplear tornillos ni elementos metálicos. Este diseño de unión se ensayó posteriormente en probetas y en prototipos a escala de la viga, arrojando unos resultados óptimos.

El poliuretano tiene dos



funciones fundamentales en el diseño del puente: evitar las inestabilidades y servir como molde en el proceso de fabricación. El estudio de las inestabilidades se realizó mediante un nuevo procedimiento de

cálculo contrastado con los ensayos correspondientes. Terminada la fase inicial de ensayos, caracterización de materiales y elementos estructurales (rigidizadores, conectores y uniones), se ajus-

tó el diseño a los resultados obtenidos, pasándose luego a la fase de ensayo a escala reducida. Se ejecutaron y ensayaron tres vigas a escala 1/3 de la mitad de una de las vigas que constituyen el puente.



► Pasarela sobre el río Manzanares en el parque Madrid Río (arriba) y pasarela sobre el Júcar en Cuenca, (izquierda).

Los resultados obtenidos indicaron que el diseño de la viga solo de fibra de carbono era el adecuado y que las uniones diseñadas cumplían ampliamente los requisitos planteados en el diseño.

Construcción

El último paso antes de la construcción del puente fue el ensayo, a escala real, de una viga con el diseño definitivo. Este se realizó el 15 de diciembre de 2003 en el laboratorio European Commission Joint Research Center, en Ispra (Milán). El objetivo era

Innovación

La construcción del puente de Asturias se planteó como un impulso a la innovación en la ingeniería de las obras públicas y al conocimiento de nuevos materiales.

Los hitos alcanzados hasta la fecha, como son el desarrollo del proyecto, el planteamiento y ejecución de los ensayos, la fabricación de las vigas y el montaje del tablero, suscitan gran interés y son una referencia para futuras obras constituidas por materiales poliméricos reforzados con fibras.

El seguimiento del comportamiento del tablero a lo largo de su vida útil permitirá contrastar el comportamiento de los materiales utilizados, así como la repercusión estructural de cualquier variación de sus características.

En países como Estados Unidos el uso de materiales compuestos se va integrando cada vez más en la construcción de puentes y otras obras de envergadura dentro de la ingeniería civil.

comprobar, con dimensiones reales, el buen comportamiento del conjunto integrado por la losa de hormigón y la viga polimérica reforzada con fibra de carbono.

Tras el análisis de los datos del ensayo, se concluyó que la viga cumple la limitación de flecha establecida en el proyecto, constatándose también que la unión se comportó satisfactoriamente, sometida incluso a solicitaciones superiores a las del proyecto. Además, las deformaciones obtenidas durante los ensayos fueron un 15% inferiores a las previstas.

A continuación se procedió a la fabricación de las vigas, por tramos de longitudes de 13 metros y uno de 7. En el taller se realizaron dos de las tres uniones que tiene cada viga de 46 metros, mientras que la otra se hizo *in situ*.

La construcción de estos tramos de viga se realizó en tres fases: realización de los diafragmas de apoyo y refuerzos de compresión, proceso de laminación de la viga y colocación de la bolsa de vacío, termopares y curado de la viga.

Una vez fabricadas las vigas, las uniones se realizaron mediante el proceso de laminado en húmedo con fibra de carbono y resina epoxi y compactación, mediante bolsa de vacío con presión controlada.

Las vigas se transportaron a la obra en longitudes de 20 y 26 metros para su unión a pie de obra. La elevación de las vigas de 46 metros de longitud y su colocación en su lugar exacto se llevó a cabo en aproximadamente dos horas. El peso de cada viga era aproximadamente de 4.600 kilogramos. Las vigas de los extremos se elevaron con las prelosas de fibra de vidrio ya colocadas para optimizar el tiempo de montaje.

Con las vigas colocadas sobre las pilas y estribos se realizó el armado y hormigonado tradicional de una losa de hormigón armado.

Pasarelas innovadoras

Siguiendo la técnica que emplea materiales compuestos basados en polímeros reforzados con fibras, existen en España otras dos construcciones innovadoras, de muy reciente creación. Una de ellas es la pasarela peatonal y ciclista en el parque Madrid Río (conocida como pasarela de Almuñécar), un proyecto por el que Acciona Infraestructuras recibió en 2011 el premio Cinco Días a la Innovación Empresarial.

La pasarela tiene una luz de 44 metros, un ancho libre de 3,6 metros y un canto de 1,2 metros. Su perfil es poligonal, formado por cuatro tramos rectos; la pendiente de los tramos inicial y final es del 6%, y en los centrales del 1,5%.

La estructura de esta pasarela se compone de una viga abierta de fibra de carbono (es una sección fabricada en fibra de carbono con geometría poligonal abierta, que consta de un ala inferior, dos alas superiores y dos almas) y unos rigidizadores en fibra de carbono (son de dos tipos:



longitudinales externos y transversales tanto internos como externos).

Por su parte, la pasarela sobre el río Júcar en la ciudad de Cuenca, también construida por Acciona Infraestructuras, fue galardonada con los premios Potencia 2011. Se trata de una estructura tipo "banda tesa" de 216 metros de longitud divididos en tres vanos iguales de 72 metros, con un tablero de 3 metros de ancho y un canto de 25 centímetros que cruza sobre el río Júcar en la ciudad de Cuenca.

Esta estructura cuenta con 16 cables de fibra de carbono y resina polimérica como elementos estructurales anclados a los estribos, que apoyan sobre los capiteles que coronan dos pilas intermedias. Sirven de apoyo a 48 dovelas prefabricadas de hormigón armado que se colocan sobre estos cables y que forman el tablero de la pasarela. La precompresión de la losa se logra colocando una carga antes de hormigonar las juntas *in situ*, que se retira cuando el hormigón alcanza la resistencia deseada, dando lugar a un estado de compresión en la losa de hormigón. ■