

Nuevo Diseño de Viaducto Carretero en Materiales Compuestos:

Duplicación de calzadas en M-111 y Variante de Fuente el Saz



Autores:

Comunidad de Madrid: Enrique del Amo, ICCP; Antonio Domingo, ICCP; y Cristina López-Cano, ITOP.

Acciona Infraestructuras:

Dirección de I+D+i: Stefano Primi, ICCP e Ingeniero Civil, Jefe del Área de Materiales Compuestos; Mauricio Areiza Hurtado, Ingeniero Civil y Físico, Área de Materiales Compuestos; José Daniel García Espinel, ICCP, Director del Departamento de Implantación e Innovación. Manuel Jiménez Hernández, Director de Departamento; y Manuel Heras Hernández, Jefe de obra.

Resumen

La carretera M-111 es una vía perteneciente a la red de carreteras de la Comunidad de Madrid que conecta Barajas con Paracuellos del Jarama. En uno de los tramos, concretamente la “Duplicación de la calzada de la carretera

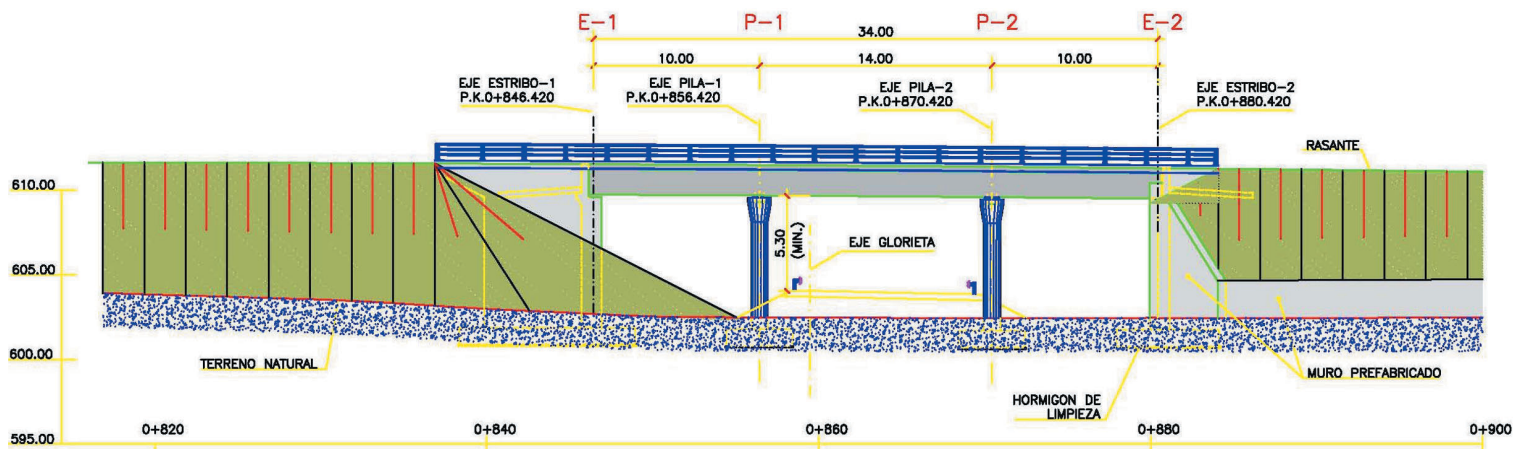
M-111 y de la variante de Fuente el Saz de Jarama”, se han proyectado 2 puentes, diseñados y ejecutados por Acciona Infraestructuras I+D+i como estructura mixta hormigón-materiales poliméricos reforzados con fibra de vidrio y carbono, de 34 m de longitud, produciéndose de esta forma un gran salto tec-

nológico en construcción civil que sitúa a la Comunidad de Madrid a la cabeza de la innovación en ingeniería constructiva.

Palabras clave: puente, materiales compuestos, polímeros, fibra de carbono, fibra de vidrio.

1. Introducción

Se han utilizado las tecnologías de diseño y construcción de nuevas estructuras en materiales compuestos para el diseño y construcción de dos nuevos puentes en la carretera M-111 de la Comunidad de Madrid, demostrando cómo es factible aunar eficiencia en el diseño y en el empleo de materiales que, gracias a sus pro-



Sección longitudinal del puente en materiales compuestos.

longados ciclos de vida, cumplen con los requerimientos de la construcción sostenible. En el tramo de la nueva carretera M-111, “Duplicación de la calzada de la carretera M-111 y variante Fuente el Saz del Jarama”, se han proyectado 2 puentes, diseñados y ejecutados como estructura mixta hormigón-materiales poliméricos reforzados con fibra de vidrio y carbono, de 34 m de longitud. Cada estructura consta de tres vanos, dos laterales de 10 m y un vano central de 14 m, con un ancho total de 20,4 m, que es soportado por cuatro vigas isostáticas, dos vigas por cada sentido de circulación.

La construcción de esta estructura supone un nuevo hito en la aplicación de materiales compuestos en construcción, superando la experiencia anterior desarrollada por Acciona Infraestructuras I+D+i, en la que la longitud total el puente era de 46 m, con una luz máxima entre apoyos de 13 m. Esta primera estructura la realizó Acciona Infraestructuras para el Ministerio de Fomento en la obra de la Autovía del Cantábrico, sección Tamón (Carreño) – Otur (Luarca) y tramo Vegarozadas – Soto del Barco en Asturias en el año 2004. En esta nueva estructura realizada para la Comunidad de Madrid la luz máxima entre apoyos es de 14 m, convirtiéndose en el puente en materiales compuestos de mayor luz del mundo para tráfico rodado.

Esta construcción es pionera a nivel

nacional y a nivel mundial, y fija un antecedente que será ejemplo para la construcción de futuras estructuras con materiales de alto nivel tecnológico.

2. Materiales compuestos en construcción

Un material compuesto se define como la unión de dos o más materiales físicamente distintos y unidos químicamente, en donde la mezcla

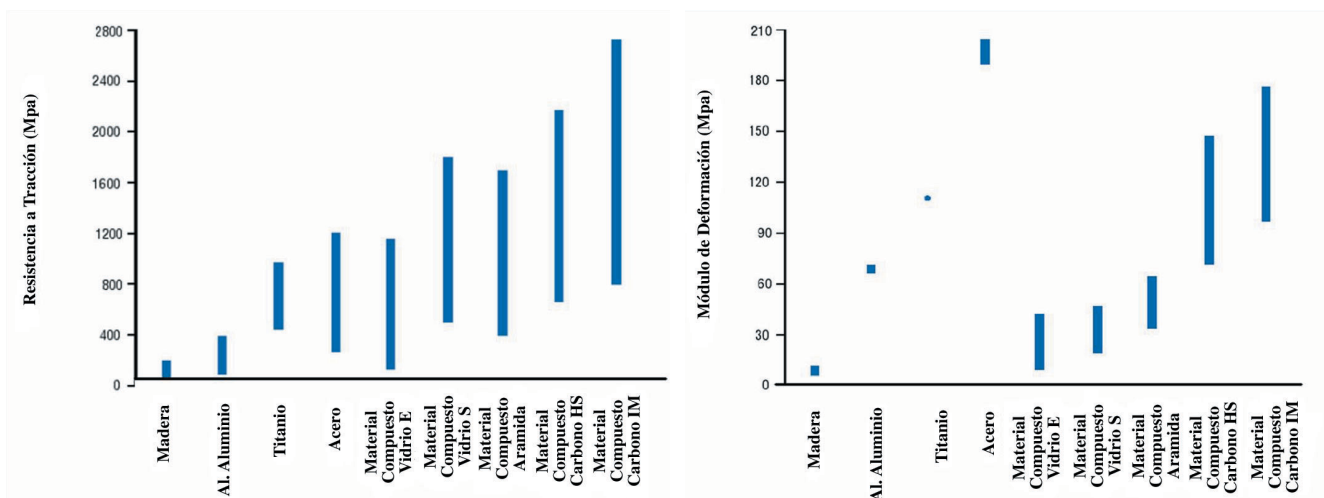
se hace de tal forma que la mezcla de un material en el otro pueda realizarse de manera determinada para alcanzar unas propiedades óptimas marcadas por el diseñador, obteniendo como resultado un nuevo material con propiedades superiores a las de los componentes originales por separado.

Sus principales ventajas, frente a los materiales de construcción convencionales, son sus altas prestaciones, debido a su reducido peso, su facilidad de puesta en obra reduciendo los medios mecánicos de elevación, además de su carácter inalterable que los hacen ideales para estructuras situadas en ambientes corrosivos y húmedos. Su reducido o nulo mantenimiento asociado a ciclos de vida realmente prolongados hace que su comportamiento ambiental sea superior a los materiales tradicionales de construcción.

Los materiales compuestos se han estado utilizando de forma general en el mundo de la industria aeronáutica y naval, así como en otros campos, de forma notable a lo largo de los últimos años. Sin embargo, en el mundo de la construcción de obra civil se están dando los primeros pasos en la investigación y desarrollo de aplicaciones de dichos materiales para el diseño y ejecución de elementos estructurales.

Una de las grandes ventajas de los materiales compuestos, especialmente de los materiales polimé-

Esta construcción es pionera a nivel nacional y a nivel mundial, y fija un antecedente que será ejemplo para la construcción de futuras estructuras con materiales de alto nivel tecnológico



Comparación de algunas propiedades mecánicas de Fibra de carbono y Fibra de vidrio respecto a otros materiales empleados en construcción.

ricos reforzados con fibras (FRP), es su comportamiento ambiental. La resultante es una prolongación de los tiempos de servicio y vida útil, fomentando una reducción considerable del mantenimiento, características totalmente alineadas con la concepción de construcción sostenible.

Debido a la libertad de diseño y formas, los materiales compuestos pueden suponer una auténtica revolución en los métodos generales de construcción, abriendo grandes posibilidades de futuro. Estos materiales permiten realizar cualquier forma y

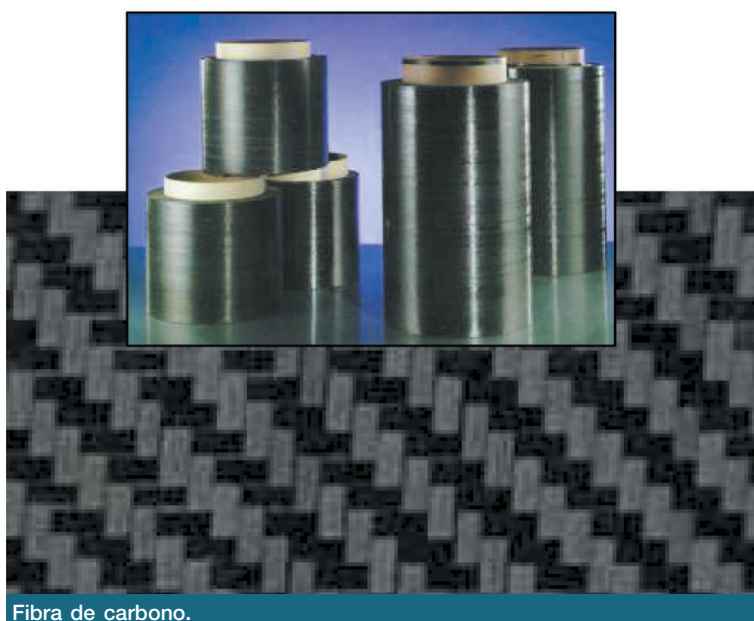
volumen, dando al proyectista una gran libertad de diseño. Adicionalmente estos materiales permiten que se sitúen las fibras de tal manera que se optimice su orientación y disposición, colocando estos materiales en las zonas donde más falta hagan desde el punto de vista resistente.

3. Principales datos de la estructura

La solución adoptada para la estructura de Duplicación de la calzada de la carretera M-111 y de la variante de Fuente el Saz de Jarama

consiste en una estructura mixta hormigón-materiales poliméricos reforzados con fibra de vidrio y carbono, compuesta por tres vanos de luces 10, 14 y 10 m, respectivamente.

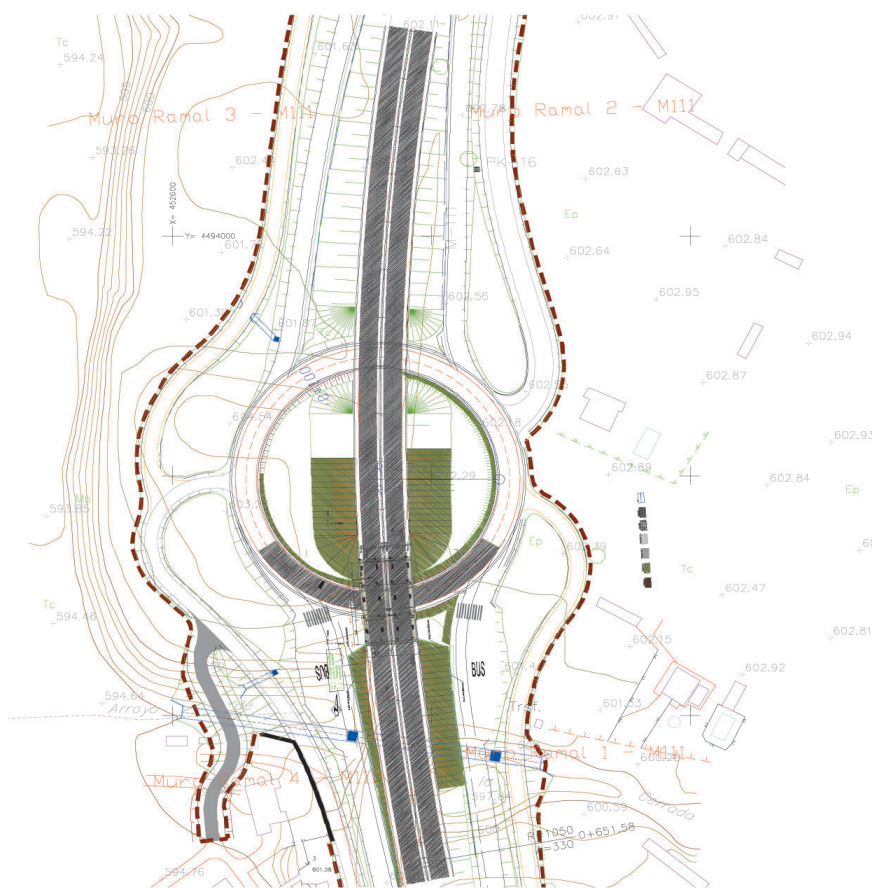
Para la construcción de estas dos estructuras se realiza una solución mixta formada por vigas en sección cajón abiertas de fibra de carbono y vidrio impregnadas con resina epoxi, con una losa superior de hormigón armado. El puente consta de 3 vanos, 2 vanos laterales de 10 m y uno central de 14 m. La longitud total del puente es de 34 m, y tiene 20,4 m de ancho. El tablero apoya



Fibra de carbono.



Fibra de vidrio.



Proyección en planta de los dos puentes ejecutados.

mm y núcleo de poliuretano de alta densidad.

Se han dispuesto diafragmas de apoyo realizados en laminado de tipo sándwich, con caras exteriores en fibra de vidrio y núcleo de poliuretano. Además, se han dispuesto rigidizadores transversales que aseguren la estabilidad de la viga frente a fenómenos de abolladura.

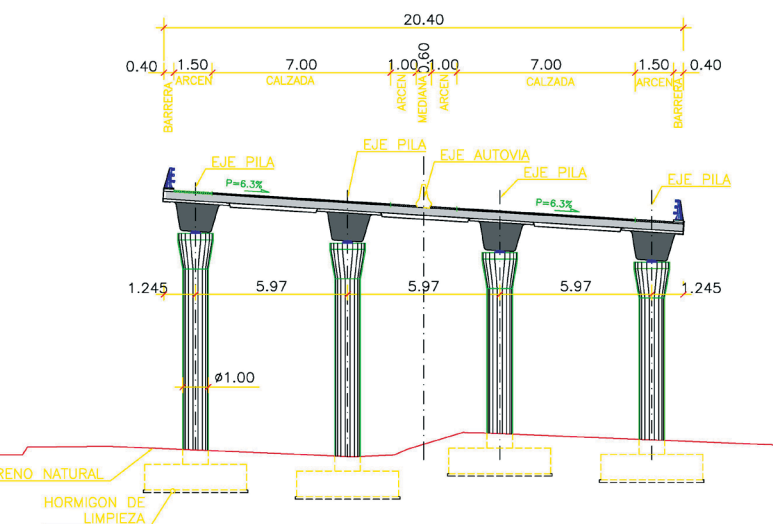
La continuidad transversal de la losa de hormigón se garantiza a través de prelosas fabricadas también en materiales compuestos. La prelosa está formada por una estructura sándwich de fibra de vidrio en sus dos caras externas y poliestireno extruido en su parte interior. La prelosa tiene un espesor de fibra de vidrio aproximado de 3 mm en cada una de las caras y un espesor interior de 50 mm de poliestireno extruido. Las altas prestaciones de estos materiales permiten que, con reducidos espesores de material, se puedan soportar grandes cargas.

El peso aproximado de cada viga está en torno a 300 kg/m, valor muy inferior al de la viga propuesta en el proyecto inicial de hormigón pretensado.

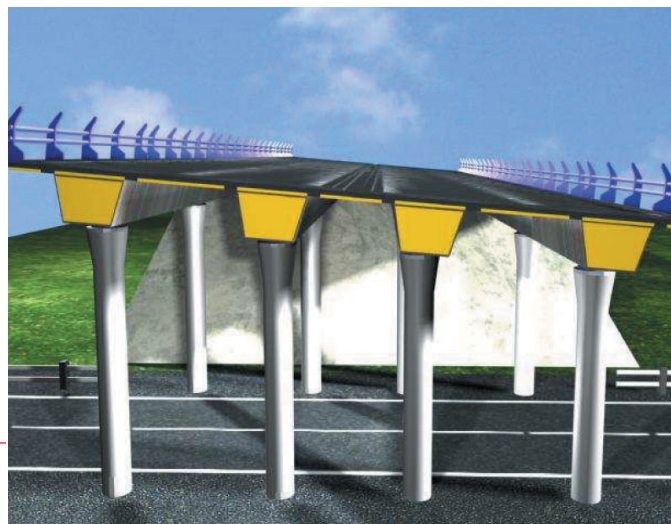
Como ya se ha comentado, sobre las vigas se sitúa una losa de compresión de hormigón armado tradicional. Sobre el ala superior de la viga se han colocado los conectores necesarios para producir la transferencia del esfuerzo rasante garantizando el comportamiento estructural

sobre cuatro vigas isostáticas, dos por cada sentido de circulación. La losa superior de hormigón es continua a lo largo del todo el puente, colocándose dos juntas de dilatación en los estribos. Las vigas de fibra de carbono y vidrio mantienen las dimensiones geométricas definidas en el proyecto, y cuentan con un espesor variable a lo largo del eje de la viga, adaptándose a los esfuerzos

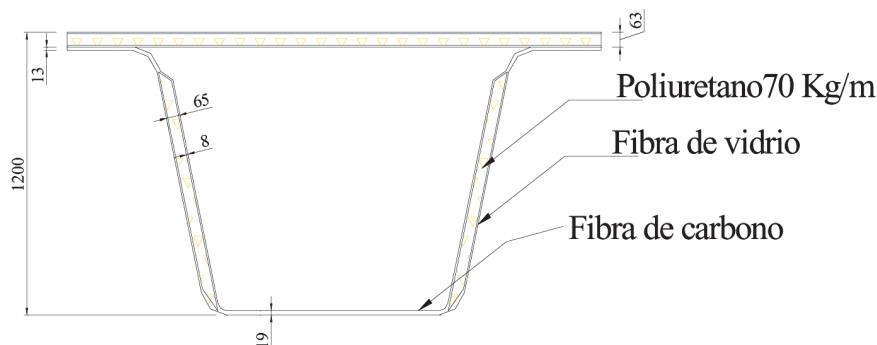
existentes en cada sección. La sección transversal de la viga es variable en cuanto a la configuración del laminado y espesor, constando de un laminado de fibra de vidrio en el ala superior de entre 6 y 12 mm de espesor, laminado híbrido de fibra de vidrio y carbono en el ala inferior de entre 14 y 20 mm de espesor, y laminado de tipo sándwich en las almas, con espesores entre 10 y 15



Sección transversal de uno de los puentes.



Sección tipo	localización	Espesor alas (mm)	Espesor almas (mm)	Espesor base (mm)	Espesor ala superior (mm)
1	Vano 1 10 m	21	66	14	59
2	Vano 2 10 m			13	
3	Vano 3 10 m			10	
4	Vano 1 14 m			20	
5	Vano 2 14 m	21	66	16	64
6	Vano 3 14 m			13	



Sección de las vigas y configuración de materiales (Fibra de vidrio, Fibra de carbono, Poliuretano).

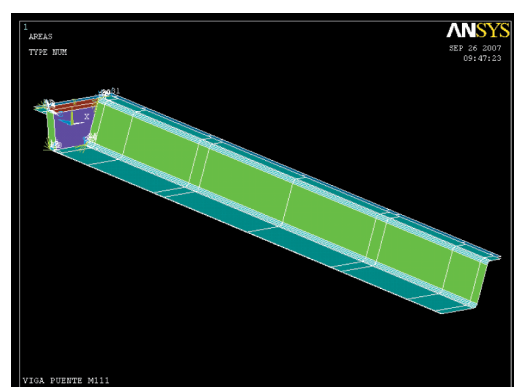
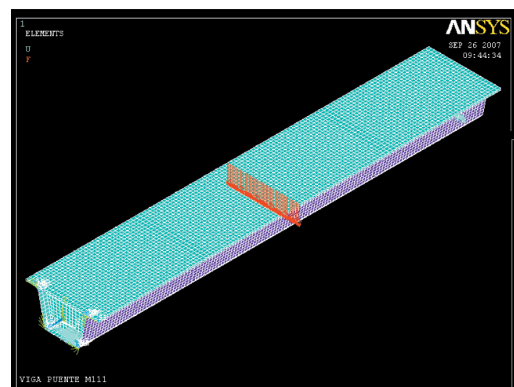
del sistema como estructura mixta. Las vigas, además, pueden llevar incorporadas las prelosas debido a su reducido peso, con la consiguiente reducción de los tiempos de ejecución.

Tanto la tipología de estribos como la de las pilas se han mantenido con respecto a la existente en el proyecto inicial.

El canto total de la sección mixta es de 1,5 m, lo que proporciona una relación canto/luz de valor 1/9, aproximadamente.

4. Cálculo estructural

La estructura se ha diseñado siguiendo las acciones de cargas consideradas en la Instrucción IAP-98, garantizando para cada hipótesis de estado límite, último y de servicio, los coeficientes de seguridad mínimos que indica la norma. Los esfuerzos y comprobación estructural se han realizado mediante el método del emparrillado. Se ha verificado dicho modelo mediante la simulación en elementos finitos de la estructura, con-



Cálculo por elementos finitos de las vigas.

siderando la ortotropía del material compuesto.

5. Control de calidad

Se han hecho controles exhaustivos de calidad, tanto de fibras como de matrices, a fin de evaluar los procedimientos de trabajo y garantizar



ASTM D3039 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

ASTM E1356 Standard method for assignment of the Glass Transition Temperature by DSC.



Ensayo de carga de una de las prelosas llevada a rotura.



Detalle del montaje de las vigas y las prelosas.

la seguridad de proyecto, mediante la verificación de las características intrínsecas de los materiales y laminados. Entre los ensayos realizados destacan la comprobación de la Temperatura de Transición Vítrea del material (T_g) en probetas analizadas por Calorimetría diferencial de barrido (DSC); la comprobación de los porcentajes de fibra y resina mediante termobalanza; ensayos mecánicos de testigos tomados de cada viga y realizados en las mismas condiciones y simultáneamente al proceso de fabricación de cada viga.

6. Montaje del tablero de vigas

Debido a las características intrínsecas de los materiales que componen las vigas, éstos les confieren

una extremada ligereza. Cada viga de 10 m pesaba 3,5 t y las de 14 m de longitud pesaban 4 t. Las prelosas pesaban aproximadamente 7 kg/m²: por lo tanto, cada prelosa pesaba un total de 30 kg.

Estos valores tan reducidos de pe-

so permitieron realizar el montaje de las vigas con un camión grúa con los que contaba la propia obra, evitando así la utilización de maquinaria de elevación, grande y pesada que hubiera sido necesaria en caso de emplear vigas prefabricadas de hormigón.

Así mismo, el montaje de las prelosas se pudo realizar a mano, mediante los propios operarios que estaban realizando el montaje de las vigas.

7. Sostenibilidad en obra civil: Puentes en materiales compuestos

Los avances en construcción conseguidos gracias a los esfuerzos en I+D de las últimas décadas no sólo han afectado al diseño y a los procesos constructivos. Actualmente se comienzan a utilizar nuevos materiales en obra con unas prestaciones impensables hace tan solo 15 años. Las ventajas del empleo de algunos de ellos vienen por la vertiente ambiental, además de la físico-mecánica. El caso de los materiales compuestos basados en materiales poliméricos con refuerzo de fibras es un importante ejemplo, dado que tan-



to una como otra, ambiental y mecánica, tienen un comportamiento especialmente destacable.

Su reducido peso (10 veces menos que las estructuras de hormigón) facilita enormemente la puesta en obra de estos elementos,



Fotografías del puente una vez terminado. Vista lateral e inferior del tablero.

reduciendo los tiempos de construcción y la necesidad de pequeños medios de elevación. Este es un factor esencial en la obra que nos encontramos, la disminución de estos tiempos supondrá una reducción en el tiempo de ejecución de la obra y reducirá notablemente la interferencia que producirá en el resto de tajos de la obra. A esto se le suma un mantenimiento reducido, y especialmente una reutilización tras el cese de la vida útil.

8. Conclusiones

Las principales ventajas que supone la realización de estas estructuras en materiales compuestos son las siguientes:

- Utilización de reducidos medios de elevación, por la reducción del peso.
- La alta durabilidad de los materiales, con prolongados ciclos de vida, lo cual produce un mantenimiento prácticamente nulo, y muy inferior a cualquier otro material tradicional.

9. Referencias

1. Mieres J.M., Calvo I., Gutierrez E., Shadidi E., Miravete A., "The Spanish Pumacom 46 meter long bridge: A cost competitive FRP alternative", Proceedings of 4th International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Calgary (Canada), July 20-23 2004.

2. Miravete A., Materiales com-

puestos I y II. (2000).

3. Gutierrez E., Di Salvo G., Mieres J. M., Experimental results from laboratory tests on an 8 metre beam manufactured from hybrid composite formwork. Advanced Composite letters vol. 7 Number 6 pp.155-160.

5. Mieres J. M., Gutierrez E., Bautista S., Calvo I. Viga de 8,0 m de longitud fabricada con hormigón y materiales, compuestos. Hormigón y Acero num. 230 (2003).

6. Tsai, 1992 Theory of composites design (1992). ■





Las personas que han participado en la realización de esta obra han sido:

Adriana Pabón Noguera	Eleanor Sillerico Mayta	Julían Embornio Micha
Afshin Tafazzoli	Ernesto Bueno	Julio José Pérez Díez
Aitor Hernández Michelena	Esteban Montoya Aramburo	Julio Rivasplata
Alejandro José Veiga Rico	Estrella Moreno Rojo	Lidia Natalia Trusilewicz
Alfonso Campo	Eva Alicia Zukowska	Luis Alfonso Pineda García
Alfonso González Barrios	Faiver Botello Rojas	Magdalena Rozanska
Alicia Giménez Ortega	Felipe Mata Gutiérrez	María José Pérez Benavides
Ana María Ruiz Calvo	Fernando Blanco Aparicio	Marta Fuentes Gutiérrez
Ana Rosa Pérez Menaza	Francisca Correyero Mogollón	Marta Pérez de Pazos
Ana María Henao Montoya	Francisco Castro Visos	Mauricio Areiza Hurtado
Andrés Viñolo Albione	Francisco Javier Mora	Mebalrik Fakraoui
Ángel Cerviño González	Gonzalo Jara Mori	Michell Posadas Mercado
Ángel Miranda Guerrero	Gonzalo Pinto Quijano	Miguel Ángel Gómez Sánchez
Antón Sanjurjo Arca	Ignacio Calvo Herrera	Mohamed Hamdi
Antonio Alonso Cepeda	Irene Derungs Ollero	Mónica Sánchez Hernández
Antonio José Sánchez Rojo	Irene Muñoz Burgos	Natalia Martín Aguadero
Anurag Bansal	Isabel Grñón Rodríguez	Nuria López Rasero
Aquilino Álvarez Castro	Javier Bonilla Díaz	Octavio Hessling Montes
Bakari Makalou	Javier Crespo Sánchez	Omar Mesto Atik
Borja Amores Fernández	Javier de Miguel Fuentevilla	Paloma Tato Cerdeiras
Carlo Paulotto	Javier Grávalos Moreno	Patricia Marcos Huidobro
Carlos Andreu Antoranz	Javier Hidalgo González de Aleo	Patricia Pérez Tarancón
Carlos Martín-Portugués	Javier Jiménez	Pilar Gorriñ Ramón
Carlos Rojo Gómez	Johnson Eseri	Pilar Valero Romero
Catalina Mondragón Enguñdanos	Jorge Viñuela Cañón	Roberto Clemente Ortega
Cristofer Mensah	José Alfredo Rodríguez Gutiérrez	Robinson Ulises
Daniel Hiniesto Muñoz de la Torre	José Cubillo Capuz	Rosa Lample Carreras
Daniel González Arrabal	José Daniel García Espinel	Santiago González García
David Martínez Notario	José Lliander Botello Rojas	Santiago Palencia Ludeña
Diana Martín Romero	José Javier de las Heras Bueno	Sara Prior Peinado
Diego Gómez Cisneros	José Luis Arroyo Ramos	Silvia Hernández Rueda
Edgar Calvo Olmedilla	José Luis Burón Martínez	Stefano Primi
Edith Quedella Bustamante	Juan Manuel Mieres	Valle Chozas Ligero
		Wilton Agila Gálvez