

Estudio experimental de conectores de vidrio AR para puentes de materiales compuestos

Experimental study on AR fiberglass connectors for bridges made of composite materials

A. Miravete^(*), J. M. Mieres^(**), I. Calvo^(**), D. Ranz^(***), P. Comino^(****), A. Chiminelli^(****),
J. Cuartero^(*) y N. Tolosana^(*)

Recepción/Received: 14-IX-04
Aceptación/Accepted: 18-V-05

RESUMEN

Un aspecto relevante dentro del proyecto de un puente realizado en materiales compuestos es el estudio de los conectores. El caso más frecuente de puente en materiales compuestos es aquél que presenta un tablero de materiales compuestos soportado por vigas metálicas o de hormigón armado. En este trabajo se analizarán los tipos de conectores más utilizados en este tipo de puentes.

Se analizarán también los conectores utilizados en el King Stormwater Channel Bridge, donde además del tablero en fibra de vidrio, se fabricaron las vigas en fibras de carbono rellenas de hormigón.

En este artículo se propondrán varios tipos de conectores y se presentarán los resultados experimentales correspondientes al ensayo de "push-out" de varios prototipos con diferentes geometrías.

Tras evaluar los resultados, se determinará el más idóneo para su implantación en el Paso Superior de la Autovía del Cantábrico, de 46 metros de luz y que presenta las vigas en fibra de carbono y los conectores de vidrio AR.

Palabras clave: conector, fibra de vidrio, puente, alcali, refuerzo de fibras, caracterización.

SUMMARY

One highly relevant aspect in composite material bridge desing is the study of the shear connectors to be used. Composite material bridges most commonly comprise a composite deck resting on steel or reinforced concrete girders. This article analyzes the connectors most frequently used in such bridges.

It also reviews the connectors used in the King Stormwater Channel Bridge, whose fibreglass deck is supported by girders made of concrete-filled carbon fibre girders.

The paper advances proposals for several types of connectors and discusses the results of push-out test run on a number of prototypes with different geometries.

The results are analyzed to identify the optimum model for the "Autovía del Cantábrico" Overpass, with its 46-m span, carbon fibre girders and AR glass shear connectors.

Keywords: connector, glass fibre, bridge, alcali, fiber reinforcement, characterization.

(*) Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, Zaragoza (España).

(**) Departamento de I+D, Necso Entrecanales y Cubiertas S.A., Madrid (España).

(***) Sistemas y Procesos Avanzados S.L., Zaragoza (España).

(****) Saint Gobain España, Madrid (España).

1. INTRODUCCIÓN

Los conectores de un puente son los elementos que transmiten los esfuerzos del tablero a las vigas mediante un esfuerzo rasante. El caso más frecuente de puente en materiales compuestos es aquél que presenta un tablero de materiales compuestos soportado por vigas metálicas o de hormigón armado. Entre los tipos de conectores que se han utilizado en puentes de materiales compuestos, cabe distinguir los siguientes:

- Conexiones a través de bulones
- Conexiones empotradas
- Conexiones atornilladas

Las conexiones a través de bulones han sido aplicadas a puentes con tableros de materiales compuestos fabricados por Creative Pultrusions, Martin Marietta Composites, Hardcore Composites e Infrastructure Composites International (1-3). La conexión mediante bulones diseñada por Creative Pultrusions consta de un agujero de 102 mm de diámetro realizado en el tablero y de un bulón soldado en obra a las vigas metálicas del puente. El agujero es rellenado con mortero y posteriormente es cubierto con una lámina de fibra de vidrio que se adhiere a la superficie superior del tablero mediante adhesivo (Figura 1). Hardcore Composites e Infrastructure Composites International presentan soluciones muy similares. Martin Marietta Composites utiliza espuma o un manguito en material compuesto como material de relleno y bulones con o sin trazas en espiral —para aumentar la adherencia— en grupos de dos o tres. En la referencia (4) se estudia este tipo de conexiones y se propone, como sistema óptimo, una unión con tres bulones con trazas en espiral y una espuma como material de relleno, calculando que la capacidad de transmisión de esfuerzos cortantes es un 62% de la habitual en conexiones en puentes de hormigón armado. Por lo tanto, el rendimiento de este tipo de conexiones es bajo. La durabilidad del mortero es también objeto de duda así como las posibles roturas de los bulones y de fallos en la conexión por un mal asiento del tablero. Este tipo de conexión se aplicó en el Salem Avenue Bridge en Dayton, Ohio, registrándose problemas de rotación y desplazamientos relativos entre el bulón y el mortero adyacente (1).

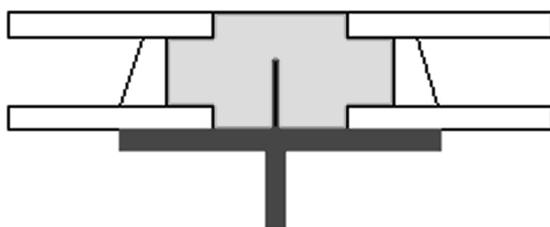


Figura 1. El bulón (en color negro) transmite el esfuerzo cortante entre la viga metálica del puente (en color gris oscuro) y el mortero (en color gris claro).

Las conexiones empotradas han sido utilizadas en puentes con tableros realizados en materiales compuestos fabricados por Kansas Structural Composites. Este tablero está formado por dos pieles en fibra de vidrio unidas mediante un núcleo sinusoidal tipo nido de abeja. En este tipo de conexión se disponen unos tubos huecos que unen los paneles superior e inferior, los cuales se empotran en las alas de las vigas del puente —normalmente de secciones en doble te— mediante tornillos (Figura 2). Este tipo de conexiones es costoso y tiene como principal inconveniente la corrosión y pérdida de par de apriete de los tornillos a largo plazo.

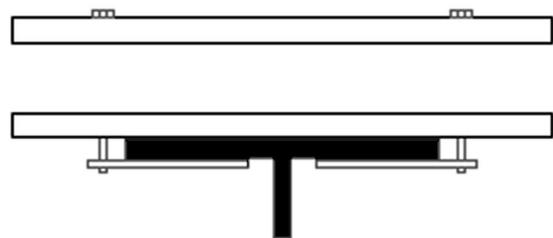


Figura 2. Conexión empotrada formada por dos tornillos que unen el tablero a las placas que se fijan a las vigas metálicas del puente, en este caso de sección en doble te.

En las conexiones atornilladas, se disponen tornillos ciegos desde la parte inferior del tablero, de manera que cada tornillo atraviesa un bulón metálico que conecta las dos pieles del tablero, roscándose en la piel superior (Figura 3). Es un sistema efectivo para evitar la separación entre vigas y tablero aunque es un sistema laborioso ya que hay que colocar los tornillos a distancias que oscilan entre los 305 y los 610 mm. Son difíciles de inspeccionar y puede haber desprendimientos de los tornillos debido a cargas de fatiga.

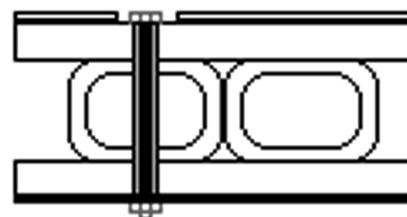


Figura 3. Conexión atornillada consistente en un tornillo ciego que atraviesa un bulón metálico y que se rosca a la piel exterior del tablero.

En (5) se propone un sistema mixto formado por una conexión a través de bulones que se empotra a las vigas del puente. Esta solución se basa en una conexión a través de bulones con un manguito metálico que presenta un rebaje, de modo que un tornillo pueda empotrar esta

conexión uniendo el rebaje del manguito y la viga del puente. El principal problema que se aprecia en esta solución es el elevado coste del sistema por la elevada mano de obra que supone. Asimismo, la posible corrosión de los tornillos y manguitos metálicos, así como las tolerancias de asiento, pueden plantear el fallo de la unión con el paso del tiempo.

Las conexiones en el King Stormwater Channel Bridge (6) son a través de bulones, con la variante de que en este caso una barra metálica doblada en forma de U se inserta en el hormigón que rellena las vigas principales. La zona doblada es insertada en el hueco practicado en el tablero, rellenándose posteriormente con hormigón polimérico (Figura 4). Se puede encontrar información adicional sobre conectores en puentes de materiales compuestos en las referencias (7-11).

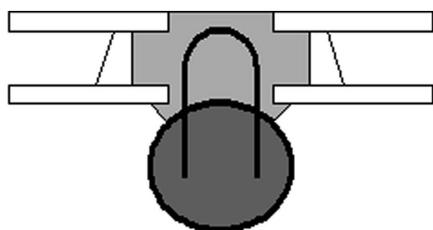


Figura 4. Conector del King Stormwater Channel Bridge. Las vigas principales en fibra de carbono están rellenas de hormigón (en color gris oscuro). El hormigón polimérico (en color gris claro) rellena el hueco practicado en el tablero de fibra de vidrio y entra en contacto con la barra metálica doblada en forma de U.

En este trabajo se va a presentar la solución dada a los conectores del Paso Superior de la Autovía del Cantábrico. A diferencia de los puentes descritos anteriormente, esta obra presenta las vigas en fibra de carbono rellenas de espuma de poliuretano y el tablero en hormigón armado. En esta construcción se planteó una conexión efectiva y económica, consistente en perfiles de pultrusión de fibra de vidrio AR. El procedimiento de pultrusión permite una automatización prácticamente total del proceso consiguiéndose costes muy bajos. Por otra parte, el uso de fibra de vidrio AR garantiza el buen comportamiento del material ante los álcalis del hormigón a largo plazo.

Con objeto de determinar la configuración óptima de las conexiones, se llevó a cabo un plan de ensayos de "push-out".

2. METODOLOGÍA DE ENSAYOS

Para el buen comportamiento de la sección del puente, debe existir un elemento de conexión adecuado que permita a los dos materiales trabajar de forma simultánea.

Se han ensayado diez tipos distintos de conexión, variando el diseño de conectores y el sistema de adherencia. En este trabajo se van a presentar los resultados correspondientes a cuatro de ellos, tres realizados en perfil de pultrusión y uno metálico. El objetivo de este plan ha sido la selección del perfil de pultrusión más idóneo para esta aplicación, ya que el procedimiento de pultrusión es bastante más económico que el resto de los procesos utilizados para los otros seis tipos de conectores: moldeo por transferencia de resina y procedimiento por contacto.

Los ensayos se realizaron en la Universidad de Zaragoza y en el IETcc. De todos los ensayos realizados se ha seleccionado como conector un perfil de pultrusión de fibra de vidrio, por su bajo coste, facilidad de fabricación y puesta en obra cumpliendo los requerimientos exigidos.

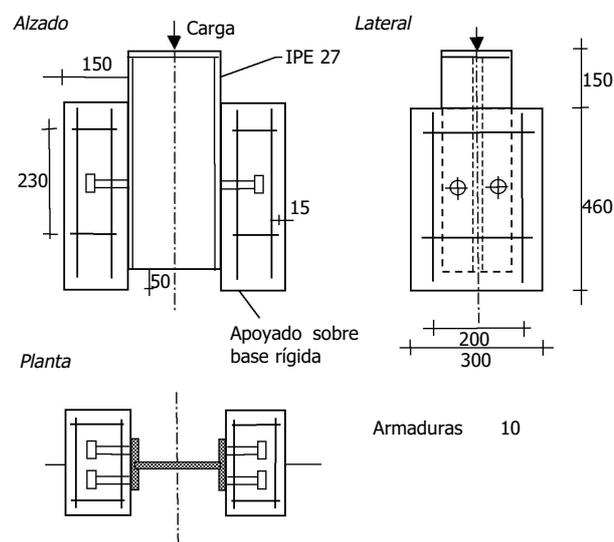


Figura 5. Esquema del ensayo de "push-out".

Para comprobar el comportamiento de los conectores se realizó el ensayo de "push-out". A diferencia del ensayo tradicional de "push-out" que utiliza un perfil de acero donde van soldados los conectores, se utilizó un perfil en sección rectangular de fibra, con las mismas dimensiones que el perfil de acero pero con el material que forma la parte del laminado superior de la viga, ya que ésta será la superficie donde irán adheridos los conectores.

Se realizaron tres ensayos con las condiciones que refleja la Figura 5. Pueden ocurrir dos tipos de roturas:

- En el caso de rotura por el hormigón, se tomará como valor característico último del conector $H_{q,k}$ el menor de los siguientes tres valores:

- $H_{q,u}$ = carga última de rotura del ensayo por conector
- f_c = resistencia del hormigón en el día del ensayo
- $f_{c,28}$ = resistencia característica a 28 días del hormigón ideal que se considere

b) En el caso de que la rotura se produzca por cizallamiento del conector debe tomarse como carga de rotura $H_{q,u}$, independientemente del valor de f_c .

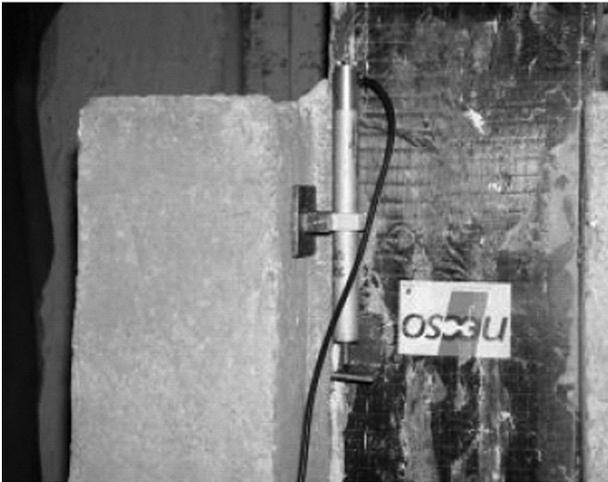


Figura 6. Detalle del sensor utilizado en los ensayos de "push-out".

El ensayo consiste en aplicar una carga sobre el perfil de fibra el cual está apoyado sobre los bloques de hormigón. De esta forma toda la carga va a transferirse al hormigón a través de los conectores. Con objeto de monitorizar el ensayo se utilizaron sensores como el representado en la Figura 6.

El hormigón utilizado en los ensayos tenía una resistencia de 25 MPa.

3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

En la siguiente fotografía se aprecia la realización de uno de los ensayos (Figura 7).

Se ensayaron cuatro tipos de conectores (Tabla 1).



Figura 7. Ensayo de "push-out" de un conector.

Las curvas carga/desplazamiento se representan en la Figura 8:

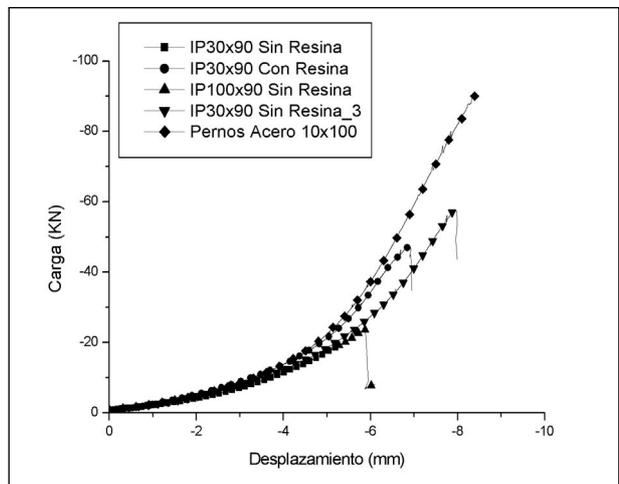


Figura 8. Curvas carga/desplazamiento para los cuatro conectores ensayados.

Tabla 1. Tipos de conectores ensayados

Denominación	Perfil	Detalle de la unión	Velocidad ensayo
Conector tipo A	IP 30x90	con resina en la superficie de contacto viga-hormigón	0,75 mm/mín.
Conector tipo B	IP 30x90	sin resina en la superficie de contacto viga-hormigón	0,5 mm/mín.
Conector tipo C	IP 100x90	sin resina en la superficie de contacto viga-hormigón	0,5 mm/mín.
Conector tipo D	Pernos acero 100x10	sin resina en la superficie de contacto viga-hormigón	0,5 mm/mín.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS MODOS DE FALLO

En el tipo A, la rotura se produjo en los conectores IPN, exactamente en la zona de unión entre el alma y el ala que se encuentra adherida a la viga de fibra híbrida de carbono-vidrio (Figura 9).



Figura 9. Detalle del fallo en la probeta A.

En el tipo B, la rotura se produjo en los conectores IPN, exactamente en la zona de unión entre el alma y el ala que se encuentra adherida a la viga de fibra híbrida de carbono-vidrio (Figura 10).



Figura 10. Detalle del fallo en la probeta B.

Finalmente, en el tipo C, la rotura se produjo en los conectores IPN, exactamente en la zona de unión entre el alma y el ala que se encuentra adherida a la viga de fibra híbrida de carbono-vidrio (Figura 11).

Los requerimientos de cálculo del proyecto exigían una capacidad última de 573 KN por metro lineal de viga. El conector seleccionado tiene una capacidad última de 200

KN por metro lineal de perfil, lo que nos garantiza que con 3 metros lineales de perfil por metro de viga se pueden obtener coeficientes de seguridad suficientemente altos para todos los estados de carga.



Figura 11. Detalle del fallo en la probeta C.

5. CONCLUSIONES

Existen en la bibliografía varias alternativas para el problema de la resolución de los conectores en puentes de materiales compuestos. Sin embargo, todas ellas presentan inconvenientes tanto de tipo técnico como de coste.

En este trabajo se ha estudiado un tipo de conexión basada en perfiles de pultrusión, que es eficiente y económica. Se han planteado cuatro conexiones basadas en esta tecnología y se han llevado a cabo ensayos de "push-out" con objeto de determinar la conexión más idónea para su aplicación en el Paso Superior de la Autovía del Cantábrico.

Para garantizar un buen comportamiento frente a los álcalis del hormigón se utilizó fibra de vidrio AR. El estudio de caracterización mecánica de perfiles de fibra de vidrio AR mediante el ensayo de "pull-out" ha dado resultados positivos, dado que se ha obtenido una solución que cumple con los requerimientos estructurales exigidos.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Henderson, M. P. *et al.*: "Evaluation of Salem Avenue Bridge Deck Replacement", Final Report prepared for State of Ohio Department of Transportation, Ohio Department of Transportation, Columbus, Ohio, 2000.
- (2) Market Development Alliance: "Vehicular Bridge Deck Panels", 1st Edition J. P. Busel and J. D. Lockwood eds. Harrison, N. Y. (2000), pp. 44-119.
- (3) Lesko, J. J.: "Overview of FRP bridge decks", Proceedings 37th West Virginia Univ. ASCE Spring Technical Conference, West Virginia, Univ. Morgantown, W. Virginia, 2001.
- (4) Moon, F. L., Eckel II D. A. and Gillespie Jr, J. W.: "Shear Stud Connections for the Development of Composite Action between Steel Girders and Fiber reinforced Polymer Bridge Decks", *J. Structural Engineering*, vol. 128 (2002), pp. 762-770.
- (5) Righman, J., Barth, K. and Dávalos, J.: "Development of an Efficient Connector System for Fiber Reinforced Polymer Bridge Decks to Steel Girders", *Journal of Composites for Construction*, July/August (2004), pp. 279-288.
- (6) Burgeño, R., Davol, A. and Seible, F.: "The Carbon Shell System for Modular Bridge Components", Second International Conference on Composites in Infrastructure", Tucson, Arizona, January, 1998.
- (7) Salem, R., Burdette, E.: "Development of an optimal high-performance concrete mixture for Tennessee bridge decks, High Performance Structures and Materials II", C.A. Brebbia & W.P. de Wilde (ed.), 2004.
- (8) Leonhardt, E. F., Andra, H. P. and Harre, W.: "New Improved Shear Connector with High Fatigue Strength for Composite Structure" (Neues vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund - Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit), *Beton-Und Stahlbetonbau*, vol. 12 (1987), pp. 325-331.
- (9) Roberts, W. S. and Heywood, R. J.: "An Innovation to Increase the Competitiveness of Short Span Steel Concrete Composite Bridges", Proceedings of Developments in Short and Medium Span Bridge Engineering '94, Halifax, Nova Scotia, Canada (1994), pp. 1161-1171.
- (10) Oguejiofor, E. C. and Hosain, M. J.: "Behavior of Perfobond Rib Shear Connectors in Composite Beams: Full Size Tests", *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 19, n. 2 (1998), pp. 224-235.
- (11) Klaiber, F. W., Wipf, T. J.: "An Alternate Shear Connector for Composite Actino, Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings", 2000, pp. 115-120.

* * *