

UNA NUEVA FIBRA DE CARACTERÍSTICAS IDEALES PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN

(A NEW FIBRE WITH IDEAL PROPERTIES FOR USE IN CONSTRUCTION)

Antonio Miravete

Catedrático del Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza

Agustín Chiminelli

Director de I + D. Sistemas y Procesos Avanzados S. L.

Fecha de recepción: 20-VI-05

070-21

ESPAÑA

RESUMEN

La creciente utilización de los materiales compuestos en España en el sector de la construcción ha logrado en estos últimos años la concreción de numerosos proyectos de envergadura que dejan en evidencia todo el potencial de estos sistemas tanto desde el punto de vista estructural y estético como a nivel económico, considerando los costes de transportes, montaje y mantenimiento asociados. Dos ejemplos concretos de esto son la actual fachada del Museo Reina Sofía de Madrid y el puente de la Autovía del Cantábrico, que se describen brevemente en el presente artículo. Las nuevas aplicaciones asociadas a los materiales compuestos, en búsqueda del aprovechamiento de todas sus ventajas, generan a su vez nuevas demandas tecnológicas que motivan el desarrollo de nuevos materiales. En el presente artículo, se presenta una nueva fibra que combina prestaciones mecánicas con un excelente comportamiento a largo plazo en combinación con el hormigón.

SUMMARY

The growing use of composite materials in Spanish construction has led in recent years to the materialization of many large-scale projects that have revealed the full potential of such systems. Their use has proven to be structurally and aesthetically as well as the economically beneficial, in light of the shipping, assembly and associated maintenance costs. Two specific examples are to be found in the facade on the Reina Sofia Museum in Madrid and a bridge on the Cantabrian Expressway, which are briefly described in this article. The new applications associated with composite materials resulting from the pursuit of ways to capitalize on all their features in turn generate new technological demands that drive the development of yet other new materials. The present article introduces a new fibre that combines mechanical features with excellent long-term performance in combination with concrete.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de materiales compuestos en la industria de la edificación y la construcción ha experimentado en estos últimos años un crecimiento importante a nivel mundial que se ve reflejado en numerosas aplicaciones que se encuentran hoy día en servicio (1-4).

¿Por qué estos materiales resultan ser de especial interés en este tipo de aplicaciones?

En primer lugar, la ligereza de estos materiales, con densidades que oscilan entre 0,03 y 2 kg/dm³, brinda enormes ventajas desde el punto de vista de economía y facilidad tanto del transporte de la pieza hasta la obra como del montaje. Como es bien sabido, ambos representan una parte importante dentro del coste total de la obra. Por otro lado, cuando estos materiales se utilizan de modo integral o masivo, se obtiene una reducción importante de las cargas muertas.

En segundo lugar, presentan un excelente comportamiento frente a la corrosión y al ataque de agentes ambientales, lo cual supone una gran ventaja en aplicaciones costeras,

marinas y, en general, en todos aquellos ambientes que sean agresivos, siendo el mantenimiento prácticamente nulo.

Respecto a sus propiedades mecánicas, dependiendo principalmente del sistema de refuerzo y, en menor medida, de la matriz, ofrecen un rango de posibilidades que los hacen susceptibles de ser utilizados tanto en componentes altamente estructurales como en componentes de bajos requerimientos mecánicos.

Otra característica importante es la absoluta flexibilidad que brindan en cuanto a formas, diseños y acabados (texturas, colores, luminosidad, etc.), incluso para la fabricación de piezas de gran tamaño. En cuanto a mantenimiento, son materiales autolimpiables por lluvia, por lo que son muy interesantes para elementos arquitectónicos exteriores como fachadas, el caso de la ampliación del Museo Reina Sofía, cubiertas, elementos decorativos, etc.

Desde el punto de vista eléctrico, y en el caso particular del material compuesto reforzado con fibra de vidrio, constituyen un material con una muy baja conductividad eléctrica, razón por la cual se los utiliza en estaciones de almacenaje, distribución y transporte de electricidad con una alta renta-

bilidad al eliminar total o parcialmente la necesidad de utilizar aisladores. No presentan ningún tipo de interferencias a las ondas electromagnéticas, lo cual hace que sean utilizados, casi en forma exclusiva, para la ejecución integral de edificios de comunicaciones y transmisiones.

Respecto a la seguridad, y particularmente en relación al comportamiento frente a fuego, una elección adecuada del sistema resina - aditivos permite conseguir, sin inconvenientes, el rango de M1- F1. Otro punto importante es su alta resistencia al ataque químico frente al agua u otros productos. Mediante una elección adecuada de la resina, resultan ser prácticamente inertes a diversos agentes químicos, razón por la cual son ampliamente utilizados en tuberías para la industria del petróleo, la industria química o simplemente para el transporte de agua.

Finalmente, sus posibilidades se ven potenciadas aún más cuando se los utiliza bajo una configuración tipo sándwich, en donde son capaces de resolver muchos de los problemas de aislamiento térmico o acústico.

Un aspecto relevante para conseguir prestaciones ideales en una fibra es su coste. En este sentido la fibra de vidrio es el material más prometedor ya que las fibras de carbono y aramida, aunque con propiedades superiores, presentan unos costes difícilmente competitivos con los materiales tradicionales. Hay que subrayar que si la rigidez es el criterio de diseño, la fibra de carbono va a ser siempre un sistema a considerar. Ahora bien, si el criterio es la resistencia, la fibra de vidrio siempre va a presentar un ratio resistencia/coste superior al resto de las fibras comercialmente disponibles.

Otro asunto que hay que tratar es la compatibilidad de la fibra con el hormigón en el caso de que se emplee este

material como matriz. La fibra de vidrio más utilizada, la denominada tipo E, no presenta un buen comportamiento a largo plazo ya que es susceptible de ser atacada por los álcalis del hormigón.

2. APLICACIONES RELEVANTES EN ESPAÑA

La fibra de vidrio E y la AR se vienen utilizando cada vez con más profusión en la construcción. Cuando se emplea matriz orgánica, el conocido vidrio E es un sistema altamente eficiente. Por otra parte, cuando se trata de reforzar una matriz cementítica, es cuando se ha de innovar y aplicar la fibra de vidrio AR, mucho menos conocida y utilizada que la anterior. En España, por mencionar algunos de los casos más recientes, contamos con dos ejemplos de aplicación en donde puede descubrirse todo el potencial asociado a estos sistemas materiales:

- La fachada del Museo Reina Sofía de Madrid, fabricada por la empresa ICSA.
- El puente de la Autovía del Cantábrico fabricado por la empresa Necso, S. A., en colaboración con la Universidad de Zaragoza, la empresa Sistemas y Procesos Avanzados S. L y el IETcc, entre otros socios.

2.1. Fachada del Museo Reina Sofía (Madrid)

Esta obra, ubicada al lado de la Estación de Atocha, es una muestra de la combinación de los materiales compuestos con el acabado, la estética y la libertad de formas. Hay que subrayar que no es una aplicación estructural, aunque debe soportar los esfuerzos característicos de una obra de fachada (Figuras 1 y 2).

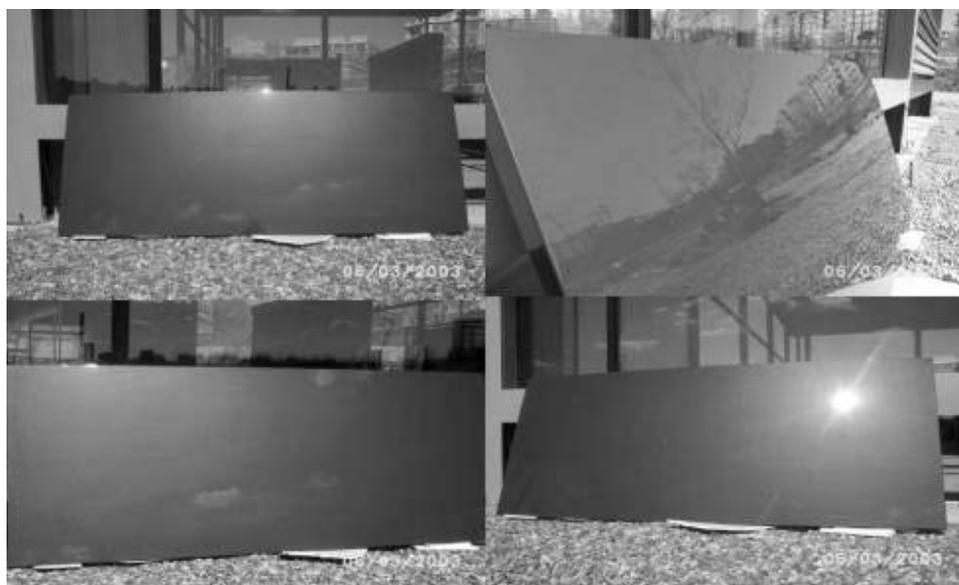


Figura 1.- Elementos de la fachada de la Ampliación del Museo Reina Sofía (ICSA).

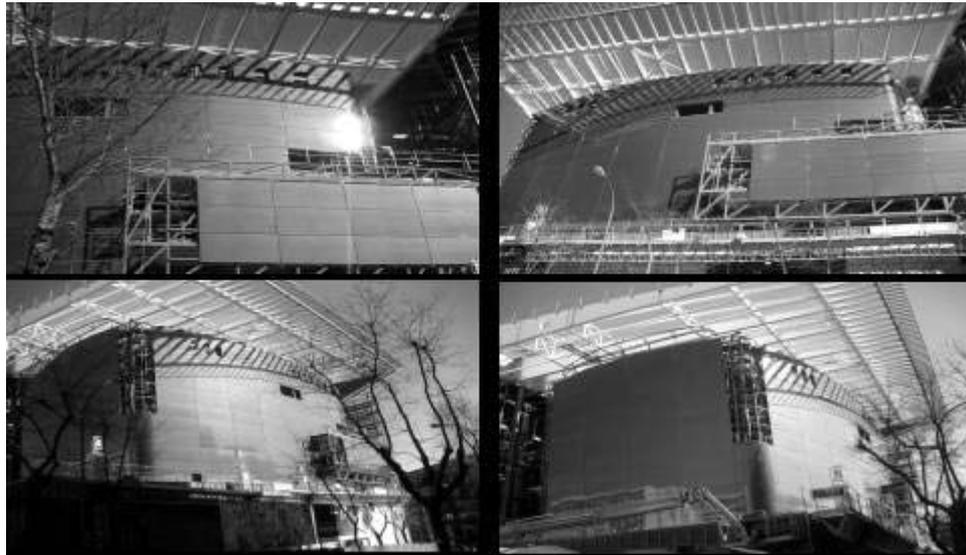


Figura 2.- Diversos momentos de la puesta en obra de la fachada de la Ampliación del Museo Reina Sofía (ICSA).

Sus características son:

- Realizada en fibra de vidrio y espuma PIR. Resistencia al Fuego. Certificado por ensayo contra norma. M1. Acabado final. Homogeneidad asegurada (color y brillo) de la fachada completa. Pérdida de brillo menor del 5% después de ensayo de 500 horas. Mayor garantía para color y brillo, con esta opción protegemos el Gel-coats, primero con una capa de pintura base poliuretano (más resistente que el Gel-coat a la intemperie) y barniz incoloro también de poliuretano, con aditivos para rayos ultravioletas y aditivo antigrafiti. Posibilidad de llevar a cabo eventuales reparaciones en obra sobre placas ya montadas o en fábrica sin que éstas se noten con respecto a las placas adyacentes.

- Facilidad para realizar reparaciones de ralladuras. Estabilidad geométrica y estructural con la adición del Sándwich de PIR, obteniendo las siguientes ventajas:

- . Garantiza la repetitividad geométrica de los elementos.
- . Mejora la estabilidad dimensional de la pieza, al tratarse de piezas con radios grandes, en el laminado normal, existe la tendencia a la deformación por la falta de rigidez.
- . Si tenemos necesidad de colocar en el panel cualquier elemento metálico embebido en el laminado, siempre tendrá tendencia a marcarse en la cara buena, por efecto de la diferencia de dilataciones y durezas de los dos materiales, este efecto con el brillo de la placa se hará cada vez mas acusado con el paso del tiempo. En cambio en la construcción con núcleo, sí que nos permite insertar, por la parte posterior de éste, cualquier elemento ya que el núcleo nos hará la absorción necesaria para que este elemento no se marque. Dificulta la transmisión térmica del panel (0.0020 Kcal./hm °C sólo en el PIR).

. Dilatación del 1 por mil.

. Excelente manejo del panel en su manipulación y montaje, por la rigidez que presenta. Aseguramiento de la dureza superficial.

. Evita los antigrafitis.

. Elevada durabilidad del producto. Excelente mantenimiento. Status: en servicio.

2.2. Puente de la autovía del Cantábrico (Asturias)

Esta aplicación es una obra pionera debido a la utilización masiva de materiales compuestos en las vigas (fibra de carbono) y en los conectores tablero-vigas (fibra de vidrio AR).

Sus características son (Figuras 3 a 5):

- . Longitud: 46 metros
- . Anchura: 8 metros
- . Clasificación: AASHTO HS-25
- . Cuatro vanos
- . Tres vigas longitudinales en fibra de carbono
- . Conectores en fibra de vidrio AR
- . Utilización de poliuretano en el interior de las vigas
- . Pilares convencionales
- . Peso de las vigas muy reducido: 100 kg/metro lineal
- . Reducción drástica del peso propio del paso superior
- . Fabricación en planta
- . Montaje en dos días
- . Se ha ensayado el paso superior con éxito tanto ante cargas estáticas como dinámicas.
- . Status: en servicio



Figura 3.- Vista General del Paso Superior de la Autovía del Cantábrico (Necso).



Figura 4.- Detalle de las vigas de fibra de carbono.

Un aspecto relevante de esta obra consiste en la utilización de conectores fabricados con fibra de vidrio AR, que incorpora ligereza, prestaciones mecánicas y es resistente frente a los álcalis del hormigón (Figura 6).

3. COMPORTAMIENTO DE DIFERENTES FIBRAS ANTE EL ATAQUE DE ÁLCALIS

En el caso de matriz cementítica, la fibra de vidrio es altamente competitiva con otros sistemas de materiales. El acero, susceptible de ser atacado por los cloruros, ha quedado claramente cuestionado debido a problemas generalizados



Figura 5.- Fotografía del Ensayo de Carga Estática.

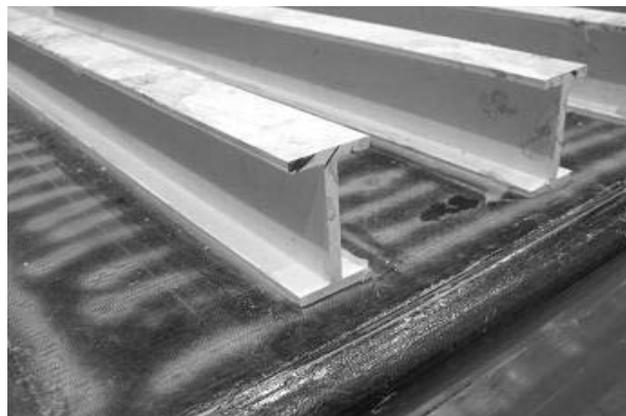


Figura 6.- Detalle de los Conectores de fibra de vidrio AR.

en obras en todo el planeta. La Tabla 1 muestra los diferentes tipos de fibra de vidrio disponibles comercialmente. En este apartado nos vamos a centrar en las diferentes tipologías de las fibras de vidrio, la cual no es atacada por los álcalis del hormigón debido a la ausencia de boro en su formulación.

TABLA 1
Composición de los diferentes tipos de fibra de vidrio

(% en peso)	Vidrio E	Vidrio C	Vidrio sin Boro	Vidrio AR
SiO ₂	55.5	61.70	57.00	57.00
Fe ₂ O ₃	0.23	0.08	0.30	0.50
Al ₂ O ₃	13.40	5.30	12.50	1.00
CaO	23.00	6.60	22.20	4.50
MgO	0.30	3.75	4.20	-
Na ₂ O	0.80	14.35	0.80	13.00
K ₂ O	0.20	1.05	0.40	2.50
B ₂ O	6.40	6.35	-	-
TiO ₂	0.10	-	-	5.50
ZrO ₂	-	-	-	16.50

Una forma eficiente de determinar el comportamiento de la fibra de vidrio bajo un estado de corrosión bajo tensión es someterla a un ensayo consistente en una sollicitación de tracción en un ambiente alcalino. En este sentido, se llevó a cabo en (5) una serie de ensayos de esta naturaleza para los cuatro tipos de fibra de vidrio representados en la Tabla 1. Se sometió a las cuatro fibras a un estado de tracción estando las fibras sumergidas en una disolución 2M de NaOH a 30 °C (Figura 7).

En esta Figura se aprecia que después de 330 horas, la fibra de vidrio E supera con creces el 25% de pérdida de masa, se registra una pérdida de masa similar para las fibras de vidrio tipo C y sin boro, en el rango del 16-18% y, sin embargo, la fibra de vidrio AR apenas queda afectada (1%).

Se puede afirmar, como conclusión de este trabajo, que, ante un ataque alcalino, la fibra de vidrio AR resulta muy superior al resto de fibras disponibles comercialmente. Una información más detallada sobre este tema se puede encontrar en las referencias (6-24).

En posteriores estudios experimentales, aún sin finalizar, llevados a cabo en la Universidad de Zaragoza en colaboración con Vetrotex y el IETcc, se están obteniendo conclusiones similares mediante la realización de ensayos mecánicos con barras envejecidas de diferentes materiales.

En estos resultados, que se publicarán cuando el estudio esté completamente finalizado se puede apreciar, al igual que en el presente trabajo, cómo las barras de vidrio AR envejecidas presentan un comportamiento muy superior al resto de las fibras, tanto desde el punto de vista de rigidez como de resistencia. Pruebas realizadas con barras metálicas embebidas en un hormigón que contiene un 3% en peso de cloruro cálcico, demuestran que el acero es atacado por los cloruros del hormigón reduciéndose drásticamente sus propiedades mecánicas a lo largo del ensayo de envejecimiento.

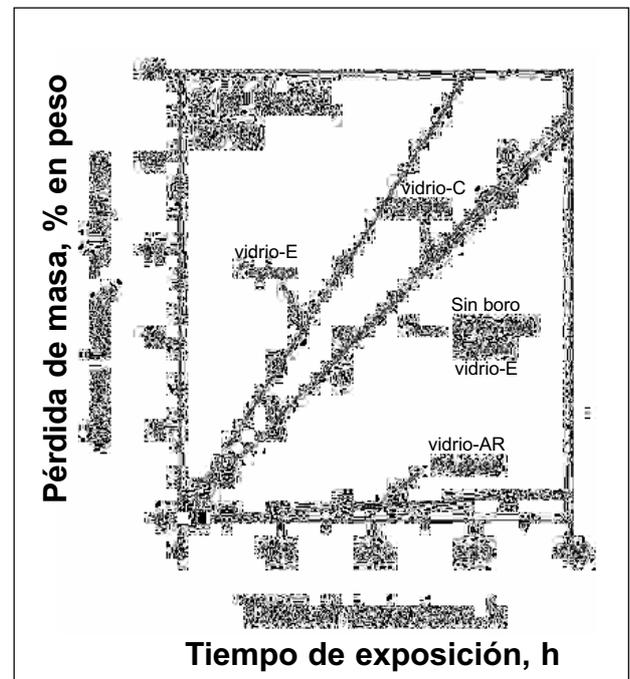


Figura 7.- Pérdida de masa correspondiente a las fibras de vidrio tipo E, C, sin boro y AR sometidas a la Norma 2 M NaOH a 30 °C.

Referencias

- (1) ACI 440 "ACI 440.1R-03: Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", 2003.
- (2) Miravete A., "Nuevos Materiales en la Construcción", editado por Universidad de Zaragoza, 1996.
- (3) Miravete, A., Materiales Compuestos, Ed. Universidad de Zaragoza, 2000.
- (4) Collins, H. H., Plastics & Rubber: Materials and Applications, feb., pp. 6-10, 1978.
- (5) Römhild, S., Bergman, G. and Comino, P. Proceedings NACE Conference, 2004
- (6) Lacámara, O., Cuartero, J., Miravete, A., Comino, P., Rodríguez R., "Estudio Comparativo de las Propiedades Mecánicas de la Fibra de Vidrio de Alta Resistencia Química con la convencional", Proceedings. AEMAC, Zaragoza, 2003

- (7) 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.
- (8) 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.
- (9) Market Development Alliance Vehicular Bridge Deck Panels, 1st. Edition J. P. Busel and J. D. Lockwood eds. Harrison, N.Y. pp. 44-119, 2000.
- (10) Lesko, J. J. Overview of FRP bridge decks, Proceedings 37th West Virginia Univ. ASCE Spring Technical Conference, West Virginia, Univ. Morgantown, W. Virginia, 2001.
- (11) 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 (6), pp. 762-770, 2002.
- (12) Righman J., Barth K. and Davalos J. Development of an Efficient Connector System for Fiber Reinforced Polymer Bridge Decks to Steel Girders, Journal of Composites for Construction, July/August, pp. 279-288, 2004.
- (13) 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.
- (14) R. Salem, E. Burdette. 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 (Editors), 2004.
- (15) Leonhardt, E. F., H. P. Andra, and W. Harre. 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.
- (16) Roberts, W. S., and R. J. Heywood 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. 1.161-1.171.
- (17) Oguejiofor, E. C., and M. J. Hosain Behavior of Perfobond Rib Shear Connectors in Composite Beams: Full Size Tests" Canadian Journal of Civil Engineering. Vol. 19, No. 2, 1998, pp. 224-235.
- (18) Klaiber, F. W., T. J. Wipf. An Alternate Shear Connector for Composite Action, Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings, pp. 115-120, 2000.
- (19) Black, S. Are hybrid designs the future for composite bridge decks? February 2004, p. 20
- (20) Turner, M. K., Harries, K. A., Petrou M.F. and Rizos D. In situ Structural Evaluation of a GFRP Bridge Deck System, Composite Structures Vol. 65, 2004, pp. 157-165
- (21) 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.
- (22) Mieres, J. M, Calvo, I. Gutierrez, E, Shahidi, E, Miravete, A., López, C, The Spanish Pumacon 46 m long bridge: A cost competitive alternative, Proceedings of 4th International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Calgary, Canada, 2004.
- (23) Gutiérrez, 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
- (24) Mieres, J. M., Gutiérrez, E., Bautista, S., Calvo, I., Hybrid beam of 8 m length manufactured with concrete and composites materials. Hormigón y Acero num. 230 (2003)
