

Comportamiento de la fibra de vidrio AR para aplicaciones estructurales en la construcción

Behaviour of AR glass fibre for building structural applications

A. MIRAVETE^(*), J. M. MIERES^(**), I. CALVO^(**), P. COMINO^(***), A. CHIMINELLI^(****), J. CUARTERO^(*), N. TOLOSANA^(*)

^(*) Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, Zaragoza

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

^(***) Saint Gobain España, Madrid

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

Persona de contacto/Corresponding author: miravete@unizar.es

Fecha de recepción: 14-IX-04

Fecha de aceptación: 24-II-05

ESPAÑA

RESUMEN

El vidrio AR y su presentación en forma de fibras de refuerzo, fue diseñado para ser inerte a los álcalis de los cementos. Por este motivo se viene utilizando desde hace varias décadas como refuerzo de morteros y hormigones en forma de fibra corta.

El ensimaje que estas fibras de vidrio de refuerzo AR presentaba en su origen no era compatible con resinas de tipo sintéticas, por lo que el refuerzo era exclusivo para cementos y hormigones fuera cual fuera la aplicación, formato o proceso productivo.

Recientemente, gracias al desarrollo específico de ensimajes especiales acordes a las fibras de vidrio AR ha aparecido la misma tipología de vidrio AR como refuerzo en forma de fibra continua compatible con resinas sintéticas, lo cual abre el espectro de las aplicaciones estructurales del material compuesto fibra de vidrio con matriz orgánica como refuerzo dentro del hormigón.

En este artículo se van a estudiar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos de fibra de vidrio AR. Primeramente se estudiará el comportamiento de este tipo de fibra bajo una sollicitación de corrosión bajo tensión. Se comparará su pérdida de masa frente a las fibras de vidrio tipo E, C y sin boro. A continuación se describirán los ensayos mecánicos de flexión 3 puntos y viga corta llevados a cabo con laminados fibra de vidrio AR/poliéster con objeto de determinar su módulo de Young y sus resistencias tanto a flexión como a cortadura interlaminar. Se compararán los resultados de estos ensayos con los obtenidos para el material compuesto de fibra de vidrio E/poliéster y se analizará su utilización como material estructural en el ámbito de la construcción.

SUMMARY

The AR glass reinforcement fibres were designed to resist the alkalis from the concrete. This is the main reason for its utilisation as a short-fibre-reinforcement of mortar and concrete for the last decades.

Originally, the AR glass fibre sizing was not compatible with synthetic resins, so that this type of reinforcement was applied exclusively to mortar and concrete matrices.

Recently, due to the developments of sizing, which are compatible with synthetic resins, the AR- glass fibres may be used as reinforcement of organic matrix composite materials, broadening the range of structural applications.

The mechanical properties of AR glass fibre and organic matrix composite materials will be studied in this paper. First, the behaviour of this material under stress corrosion will be analysed. Their mass loss will be compared to E, C, and boron free glass fibres. Second, an experimental study dealing with 3P test bending and short beam of AR glass fibre / polyester will be described with the goal of obtaining their Young modulus and tensile and interlaminar shear strengths. Finally, these experimental results will be compared to E glass fibre / polyester and several conclusions about their structural applications will be drawn.

PALABRAS CLAVE: álcalis, vidrio, refuerzo de fibras, corrosión, hormigón.

KEYWORDS: alkali, glass, fibre reinforcement, corrosion, concrete.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo último de los ingenieros de materiales compuestos en el área de la construcción es la implantación de materiales que combinen:

- Resistencia ante los álcalis del hormigón
- Propiedades mecánicas
- Ligereza
- Resistencia a largo plazo
- Bajo coste

Mucho se ha avanzado desde la década de los setenta en materiales compuestos que reunían resistencia mecánica, ligereza, resistencia a largo plazo y bajo coste, pero siempre ha existido el grave inconveniente de la resistencia ante los álcalis del hormigón, lo cual ha supuesto un retraso considerable frente a otras áreas como el transporte (aéreo, terrestre y marítimo).

La fibra de vidrio presenta unas excelentes propiedades para su uso como elemento estructural. Sin embargo, como se cita en (1) Guía del Comité ACI 440 "ACI 440.1R-03: Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars" cuando se refiere a las fibras de vidrio E y S: "Los factores medioambientales desempeñan un papel importante en el comportamiento a fatiga de las fibras de vidrio debido a su susceptibilidad ante la humedad y las soluciones alcalinas y ácidas".

Si se busca un material idóneo para soportar elevadas cargas en combinación con el hormigón, a las prestaciones mecánicas se ha de incorporar el requerimiento de resistencia ante los álcalis del hormigón. Ante el problema actual de corrosión en las armaduras de las estructuras de hormigón (Figura 1), la fibra de vidrio AR está siendo aplicada en un número creciente de obras.

Los materiales compuestos de fibras de vidrio AR de longitud corta no van a ser el objeto de estudio de este trabajo

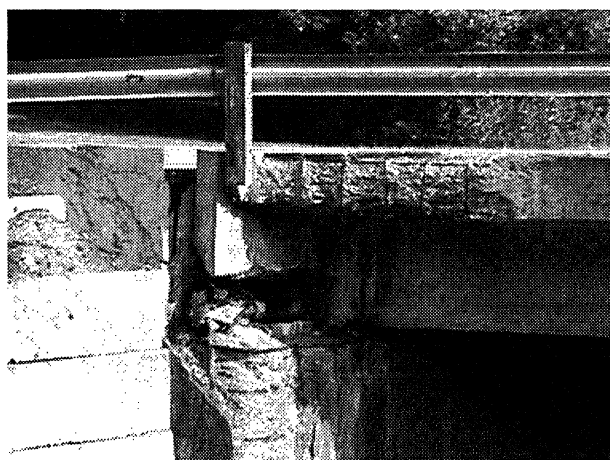


Figura 1.- Detalle de corrosión de armaduras y posterior deterioro del hormigón.

jo debido a sus bajas propiedades mecánicas, dada la discontinuidad del refuerzo. Puede encontrarse información sobre este tipo de material compuesto en (2). De modo que este estudio se va a centrar en las fibras de vidrio AR de tipo continuo y asociadas a una matriz orgánica, de tal forma que el material compuesto constituido por ambos elementos se pueda considerar como un refuerzo eficiente del hormigón.

La composición de los diferentes tipos de fibra de vidrio queda reflejada en la Tabla 1. Información detallada sobre los diferentes tipos de fibra de vidrio puede encontrarse en (3).

2. COMPORTAMIENTO DE LA FIBRA DE VIDRIO AR FRENTE A LOS ÁLCALIS

De especial importancia es el comportamiento de los materiales compuestos en ambientes alcalinos bajo tensión, como es el caso de las aplicaciones estructurales en la construcción (puentes, muros, fachadas de edificios, etc.) y es, en base a esta razón, por la que este apartado va a estar centrado en corrosión bajo tensión. Corrosión bajo tensión se define como un proceso que genera una tensión en el material como resultado de una acción combinada de la corrosión y de una sollicitación mecánica. Si esta tensión está muy por debajo del límite de rotura del material compuesto, éste no sufre ningún fallo a nivel estructural, pero cuando está próxima o supera la resistencia del material, aparecen fallos en éste en forma de agrietamiento de matriz, rotura de interfase o delaminación.

A mitad del siglo XX, comenzó la utilización de los materiales compuestos de fibra de vidrio E para aplicaciones en ambientes alcalinos en la industria química. En una primera etapa, únicamente se le concedió importancia a la matriz y se pensó que la fibra era inerte al ataque de los álcalis. Collins (4) en 1978 demostró que no sólo la matriz representaba un papel importante en los procesos de degradación sino que la fibra de vidrio E era objeto también del ataque por parte de los álcalis del hormigón.

El modo más apropiado para determinar el comportamiento de la fibra de vidrio en un estado de corrosión bajo tensión es someterla a un ensayo consistente en una sollicitación de tracción en un ambiente alcalino. El Swedish Corrosion Institute llevó a cabo una serie de ensayos de esta naturaleza para los cuatro tipos de fibra de vidrio representados en la Tabla 1 (5). 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 2).

En la Figura 2 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

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	57,0	57,0
Fe ₂ O ₃	0,23	0,08	0,3	0,5
Al ₂ O ₃	13,4	5,3	12,5	1,0
CaO	23,0	6,6	22,2	4,5
MgO	0,3	3,75	4,2	-
Na ₂ O	0,8	14,35	0,8	13,0
K ₂ O	0,2	1,05	0,4	2,5
B ₂ O	6,4	6,35	-	-
TiO ₂	0,1	-	-	5,5
ZrO ₂	-	-	-	16,5

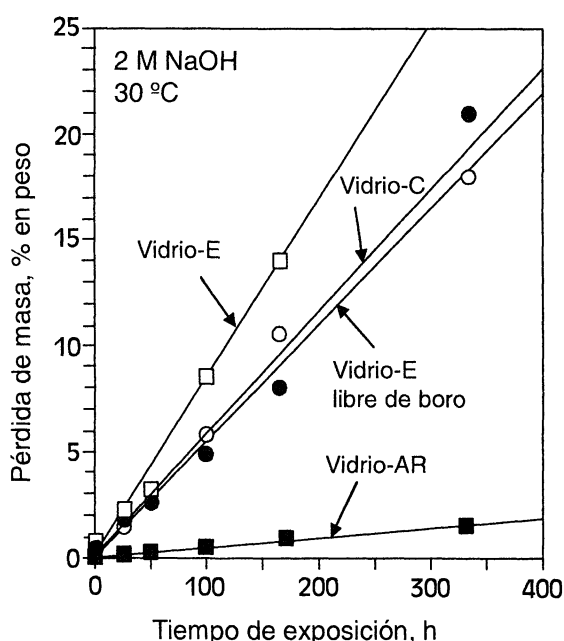


Figura 2.- Pérdida de masa correspondiente a las fibras de vidrio tipo E, C, sin boro y AR sometidas a la Norma 2 M NaOH a 30 °C (5).

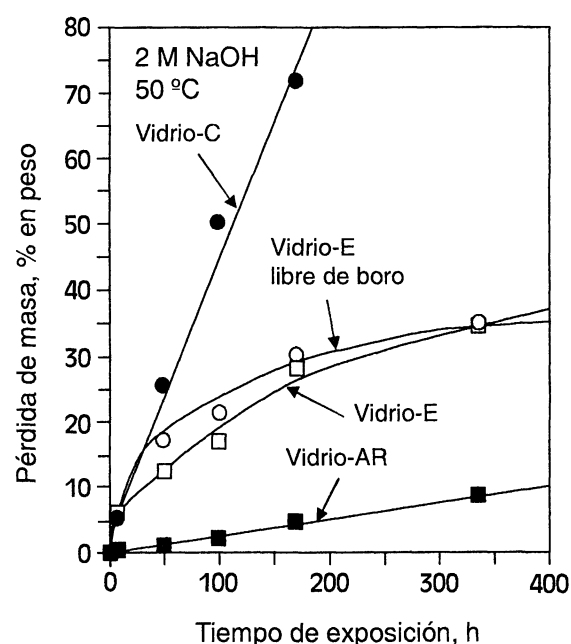


Figura 3.- Pérdida de masa correspondiente a las fibras de vidrio tipo E, C, sin boro y AR sometidas a la Norma 2 M NaOH a 50 °C (5).

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%).

En el mismo trabajo (5), aparece reflejada la pérdida de masa de estos cuatro tipos de fibra de vidrio, en una disolución con la misma concentración de NaOH (2M) pero a 50 °C. Este incremento de temperatura aumenta la velocidad de corrosión en este tipo de fibras (Figura 3).

Efectivamente, se aprecia en la Figura 3 como la pérdida de masa es superior en todos los casos a los registrados a 30 °C (Figura 2). A 50 °C, la fibra de vidrio C queda totalmente deteriorada tras 330 horas, mientras

que la fibra de vidrio E y sin boro registran un 35% de pérdida de masa y la fibra de vidrio AR marca un 8%.

En definitiva, se puede concluir que la fibra de vidrio AR presenta un excelente comportamiento en un estado de corrosión alcalina bajo tensión, a diferencia de los otros tres tipos de fibra de vidrio analizados.

3. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE VIDRIO AR

La fibra de vidrio AR presenta un módulo de Young similar al aluminio -tres veces inferior al acero-, mientras que

TABLA 2
Propiedades mecánicas del vidrio AR y otros materiales de construcción

Fibra	Densidad (t/m^3)	Módulo de Young (GPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
Vidrio AR	2,6	73	1.700
Acero	7,8	200	350
Aluminio	2,7	72	290
Polipropileno	0,9	3.5-5	400
Hormigón	2,4	20-40	0-5

su resistencia a la tracción es muy superior a los aceros utilizados en construcción. Su densidad es tres veces menor que la del acero (Tabla 2).

Para ser aplicado como elemento estructural, la fibra de vidrio AR se asocia con una matriz orgánica, normalmente poliéster, viniléster o epoxi. En (6) se describen unos ensayos mecánicos llevados a cabo con perfiles de vidrio AR/poliéster fabricados mediante el proceso de pultrusión. En esa referencia se aplicó a la fibra de vidrio AR la misma proporción de resina que la aplicada a la fibra de vidrio E, lo cual no es lo más idóneo para la fibra de vidrio AR, que precisa mayor cantidad que el vidrio E para que quede completamente impregnada.

En este apartado se van a presentar los resultados de los ensayos mecánicos de probetas realizados con tres sistemas de material:

- vidrio E/poliéster, a la que denominaremos “E”
- vidrio AR/poliéster con la misma proporción fibra/matriz que el sistema vidrio E/poliéster, que se denominará “AR1”
- vidrio AR/poliéster con la proporción fibra/matriz idónea para que la fibra quede completamente impregnada, que denominaremos “AR2”

En todos los casos, el espesor de las probetas es 5 mm. Las probetas se obtuvieron mediante el sistema de enrollamiento filamentario, proceso de fabricación de gran interés para la construcción como lo representa el hecho de que en el puente de materiales compuestos de mayor luz en Estados Unidos, el King Stormwater Channel Bridge, se utilizó este proceso para la fabricación de las vigas (7).

Las probetas se obtuvieron partiendo de tubos de 350 mm de diámetro fabricados por Ollearis en Barcelona (Figura 4). Se llevaron a cabo ensayos de flexión 3-Puntos según la norma ASTM D790 y de viga corta mediante la aplicación de la norma ASTM D2344. Ambos ensayos se realizaron en una máquina de ensayos uniaxial INSTRON 8032, en la Universidad de Zaragoza.

De los tubos originales, se obtuvieron porciones (Figura 5), donde se extrajeron las probetas para los ensayos

de flexión 3-P (Figura 6, izquierda) y de viga corta (Figura 6, derecha).

3.1. Ensayos de flexión a 3-P

Se realizaron ensayos de flexión 3-P con luces de 80 mm, correspondiente a un ratio luz/espesor de 16 y de 160 mm, dando en este caso un ratio de 32. Ambos ensayos se muestran en la Figura 7.

En la Figura 8 se representan los valores de los módulos a flexión, E_f , de los tres sistemas de materiales ensayados para distancias entre apoyos de 80 y 160 mm. Como se puede apreciar en esta figura, los valores correspondientes a la probeta “AR1” son sensiblemente menores que los obtenidos en la probeta “AR2”, por lo que se demuestra la tesis de que la fibra de vidrio AR requiere una cantidad adicional de resina para que quede completamente impregnada.

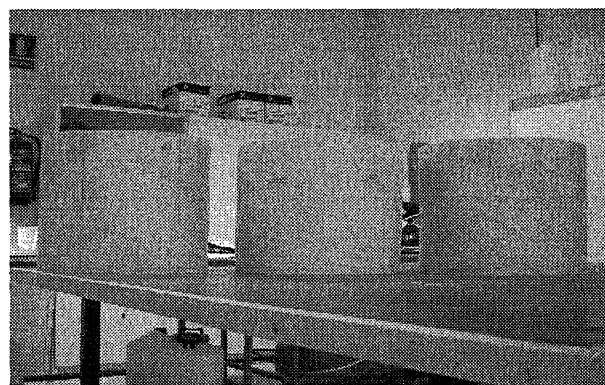


Figura 4.- Tubos de los cuales se obtuvieron las probetas.

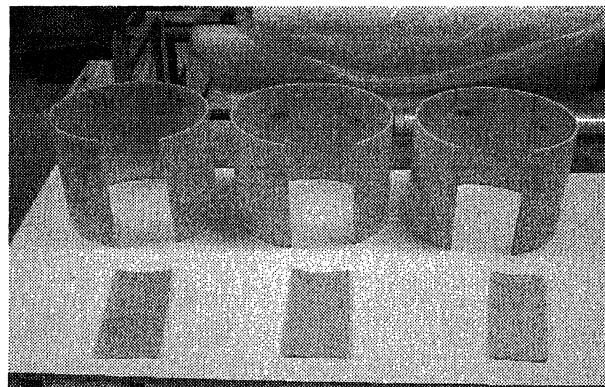
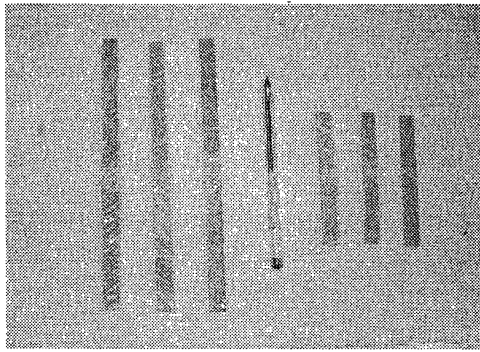
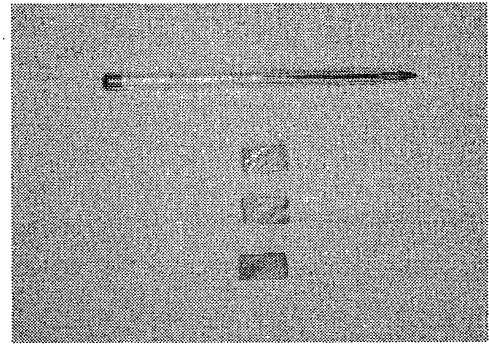


Figura 5.- Porciones de los tubos de los cuales se extrajeron las probetas.

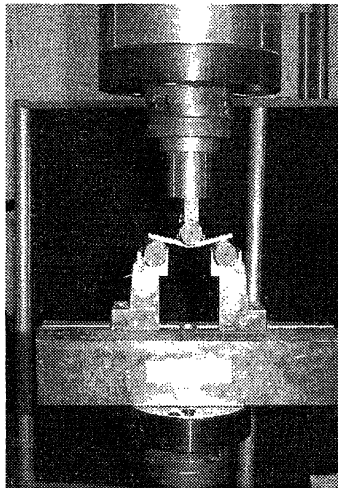


Probetas para el ensayo de flexión 3-P.

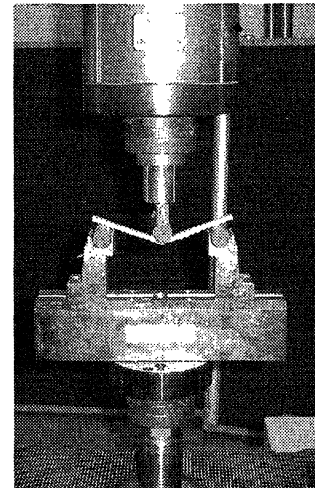


Probetas para el ensayo de viga corta.

Figura 6.- Imágenes de las probetas.



Luz = 80 mm



Luz = 160 mm

Figura 7.- Ensayos de flexión a 3-P.

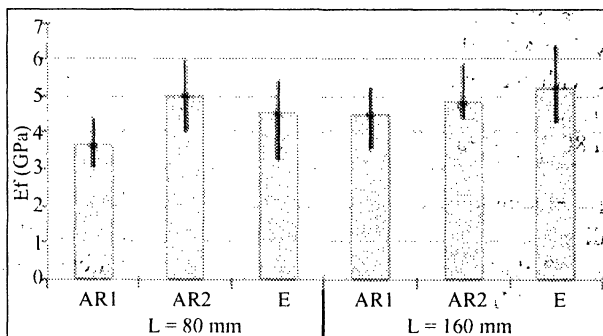


Figura 8.- Valores de los módulos a flexión de los tres materiales ensayados.

Se observa también que los módulos de Young de las probetas de vidrio E y vidrio AR presentan valores similares. En el caso de longitud entre apoyos de 80 mm, el módulo de Young es mayor en el caso del vidrio AR, invirtiéndose los valores para el caso de luz 160 mm. La principal conclusión que se obtiene de estos ensayos es que la rigidez de ambos tipos de fibra es muy similar. Este punto es especialmente importante para aplicaciones de materiales compuestos en la construcción, donde en la mayoría de los casos se registran diseños de flecha dominante en lugar de resistencia dominante. El caso más

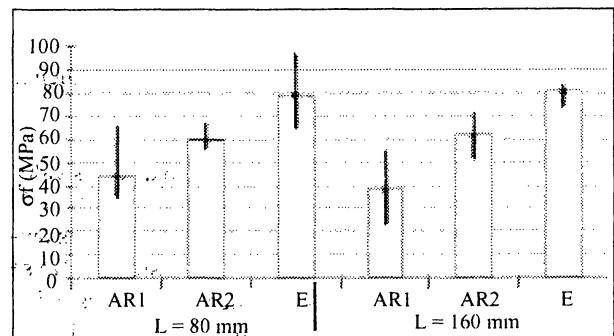


Figura 9.- Valores máximos de resistencia a flexión de los tres sistemas de materiales.

típico es el de un puente o un paso superior, donde se suele aplicar la fórmula:

$$\text{flecha} = \text{luz} / 600$$

Para este valor de la flecha, la tensión en los materiales compuestos suele ser muy inferior a la resistencia del material.

En la Figura 9 se representan los valores máximos de resistencia, σ_f , obtenidos en el ensayo de flexión 3-P para distancias entre apoyos de 80 y 160 mm. En esta figura,

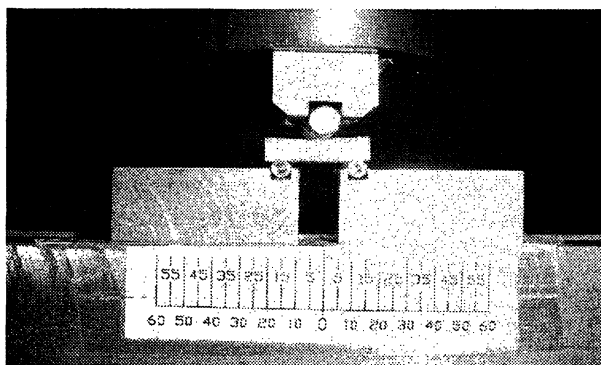


Figura 10.- Ensayo de viga corta.

se vuelven a repetir los bajos valores de la fibra de vidrio "AR1" en comparación con "AR2". En este caso, se obtienen unos valores de resistencia de la fibra de vidrio AR inferiores a los obtenidos para la fibra de vidrio E.

3.2. Ensayos de viga corta

Se ensayaron probetas longitudinales y circunferenciales con objeto de determinar las resistencias a cortadura de los tres sistemas de materiales mencionados en las dos direcciones del tubo. Se aplicó la norma ASTM D2344 (short beam test). En ambas direcciones se trabajó con una distancia entre apoyos de 12 mm, por lo que el ratio luz/espesor fue 2,4 (Figura 10).

Se muestran en la Figura 11, las resistencias de cortadura interlaminar de los tres materiales en las direcciones longitudinal y transversal. En esta figura, una vez más, los valores de la fibra de vidrio "AR1" son muy inferiores que los de la "AR2". Como ocurría en el ensayo de flexión, la resistencia de la fibra de vidrio AR es menor que la de la fibra de vidrio E.

Se considera relevante tener conocimiento de estos valores ya que los cálculos de estructuras resistentes realizadas con fibras de vidrio AR se basan en estos valores tanto para los análisis de rigidez como de resistencia. No se le concede especial importancia al hecho de que este tipo de fibra sea ligeramente menos resistente que la fibra de vidrio E. En aquellos casos de resistencia dominante, será preciso aumentar levemente el espesor de los materiales compuestos de fibra de vidrio AR con respecto al de vidrio E. Aunque se aumente ligeramente el peso de la estructura, se tiene la garantía de una excelente resistencia en un ambiente alcalino a largo plazo, algo que no sucede con la fibra de vidrio E.

4. CONCLUSIONES

La fibra de vidrio AR constituye una alternativa de gran interés como sistema de refuerzo del hormigón para aplicaciones estructurales en la construcción.

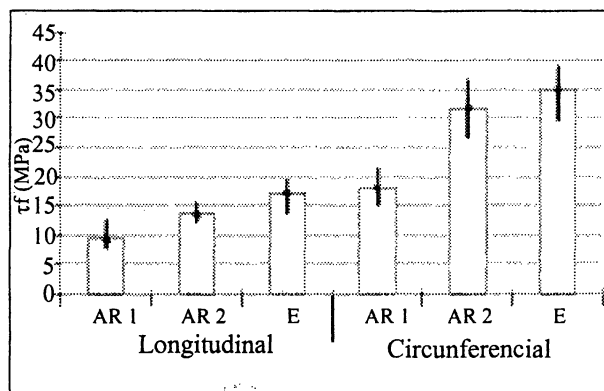


Figura 11.- Valores de las resistencias a cortadura obtenidos en los ensayos de viga corta.

En el capítulo de ensayos de corrosión bajo tensión, se han presentado los resultados realizados por el Swedish Corrosion Institute (7), donde se aprecia claramente que la fibra de vidrio AR presenta un excelente comportamiento en medio alcalino a diferencia de las fibras de vidrio E, C y sin boro, tanto a 30 °C como a 50 °C.

El estudio de caracterización de probetas de resina de poliéster y diferentes tipos de fibra de vidrio, ha permitido determinar los módulos elásticos y resistencias de vidrio E/poliéster y vidrio AR/poliéster. En términos de módulo de Young, el laminado de fibra de vidrio AR/poliéster ha dado valores superiores al de vidrio E en un 10,2%: 5.019 GPa para el vidrio AR en comparación con 4.503 GPa para 80 mm de luz mientras que para una luz de 160 mm, es un 7,6% inferior: 4.825 GPa para el vidrio AR en comparación con el vidrio E: 5.223 GPa.

Para el caso de resistencia a flexión, los laminados de vidrio AR/poliéster reflejaron un valor 24,5% inferior que el vidrio E: 59.449 MPa frente a 78.791 MPa para 80 mm de luz y un 23,35% también inferior: 61.623 MPa frente a 80.399 MPa para 160 mm de luz.

La resistencia a cortante dio un 20,4% inferior en la dirección longitudinal: 13.567 MPa frente a 17.042 MPa y un 9,3% también inferior en la dirección circunferencial: 31.723 MPa frente a 34.990 MPa.

En consecuencia, se puede concluir diciendo que los laminados de fibra de vidrio AR presentan un módulo de Young similar al que presenta la fibra de vidrio tipo E, mientras que su resistencia a flexión es sensiblemente menor (24%). La resistencia a cortante de la fibra de vidrio AR presenta un comportamiento ligeramente superior al de flexión, ya que en este caso los valores son más próximos a los de la fibra de vidrio E (20,4% en la dirección longitudinal y 9,3% para la circunferencial).

Incrementando ligeramente el espesor, el comportamiento del material compuesto de vidrio AR es similar al de vidrio E, mientras que su comportamiento ante corrosión es muy superior.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ACI 440 "ACI 440.1R-03: *Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bar*, 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*, febrero (1978), pp. 6-10.
- (5) Römheld S., Bergman G., 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 convencionada*, Proceedings. AEMAC, Zaragoza (2003).
- (7) Burgeño, R., Davol, A. and Seible, F.: *The Carbon Shell System for Modular Bridge Component*, Second International Conference on Composites in Infrastructure, Tucson, Arizona, enero (1998).

* * *

BIBLIOTECA DEL IETCC

RECURSOS DE INFORMACIÓN PARA EL ÁREA DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN

La Biblioteca del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (<http://www.ietcc.csic.es/biblioteca.html>) creada desde la fundación del Instituto en el año 1952, está integrada dentro de la red de bibliotecas del CSIC (<http://www.csic.es/cbic/cbic.htm>). Es una biblioteca de investigación especializada en temas de ingeniería, arquitectura, construcción, ciencias de los materiales, normativa, etc. Su fondo bibliográfico está formado por más de 19.000 volúmenes y 684 títulos de revistas nacionales y extranjeras, disponible dentro de los Catálogos Informatizados de las Bibliotecas del CSIC (<http://sauco.csic.es:4505/ALEPH>). Integra también este fondo la colección de "Monografías del Instituto Eduardo Torroja" con 400 títulos publicados y un fondo especializado de folletos, cartillas y manuales que recogen trabajos de investigación especializados en el área de la ingeniería, arquitectura y construcción.

Su sala cuenta con 10 puestos de lectura y dispone de 3 ordenadores para consulta de bases de datos, catálogos, revistas electrónicas y recursos de información científica en Internet

La biblioteca ofrece sus servicios de información a la comunidad científica española y profesionales del área de la ingeniería, arquitectura y construcción.

Servicios de referencia e información bibliográfica:

Acceso a la información electrónica:

Catálogos CIRBIC: (<http://www.csic.es/cbic/acceso.htm>)
Bases de Datos de la Red de CD-ROM del CSIC
Revistas Electrónicas

Acceso a la información especializada disponible en Internet:

Servicio de búsquedas bibliográficas:

Este servicio facilita la obtención de referencias bibliográficas sobre cualquier tema de interés para el usuario.

Servicio de suministro de documentos:

Obtención de Documentos:

Búsqueda y suministro de artículos, libros, normas, manuales, etc. Además del envío de documentos por medios convencionales (correo, fax, etc.) la biblioteca del Instituto dispone de un servicio de envío de documentos por correo electrónico.

Para más información sobre los servicios y tarifas de los mismos:

imendoza@ietcc.csic

Bib_Torroja@bib.csic.es

<http://www.ietcc.csic.es/biblioteca.html>