

Evaluación del comportamiento mecánico de un concreto reforzado con fibras textiles de vidrio sometido a cargas de flexión para su uso en la elaboración de elementos urbanísticos prefabricados

Revista Tekhné: ISSN 1692-8407. 2013 Vol. 10, Núm. 1, Pág. 5-18

Fecha de recepción: 26 de julio de 2013

Fecha de aceptación: 5 de agosto de 2013

Autores, afiliación, e-mail: 1.) Anderson Beltrán Díaz, Arquitectura y Concreto S.A.S. anderson_8806@hotmail.com 2.) Edicson Gabriel García Mateus, Arquitectura y Concreto S.A.S. edic523@hotmail.com 3.) Carlos Pastrán Beltrán, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. carlospastranbeltran@hotmail.com

Resumen

Se presenta el desarrollo y el análisis a flexión de un concreto reforzado con fibras textiles o concreto textil. Para tal efecto se realiza en primera instancia el análisis de cada uno de los componentes típicos del concreto reforzado, como lo son el refuerzo (fibra), cemento, agregado y demás componentes, a fin de caracterizar y desarrollar un material compuesto con características propias.

Después del análisis de los componentes se realiza el diseño de mezcla para la elaboración del concreto y se construyen probetas con cuatro diferentes direccionamientos de refuerzo; estas se ensayan a flexión siguiendo los apartes establecidos en la normatividad estudiada (colombiana y extranjera).

Se analizan los resultados obtenidos en los ensayos de flexión y se establece la mejor combinación (matriz + refuerzo) para el desarrollo e implementación de este en elementos prefabricados; finalmente se diseña y elabora un elemento prefabricado en concreto textil y se prueba para establecer la capacidad de soporte a la carga de diseño y sobrecarga.

Palabras clave: concreto textil, flexión, prefabricado, refuerzo

Evaluation of the mechanical behavior of a reinforced concrete with textile glass fibers subjected to bending loads for use in the development of urban prefabricated

Abstract

The following document contains the development and analysis of a concrete flexural reinforced concrete textile fibers or textiles. To that effect is made in the first instance the analysis of each of the typical components of reinforced concrete, as are the reinforcement-fiber, cement, aggregate and other ingredients, in order to characterize and develop a composite material characteristic.

After analysis of the components is done mix design for the production of concrete and are built with four different addresses specimens reinforcement, these are tested in bending following set asides in the regulations-Colombian and foreign study.

We analyze the results of bending tests and provide the best combination-reinforcement-matrix + for development and implementation of this in precast, finally designs and develops a specific textile prefabricated and tested to establish the ability to support the design load and overload.

Key words: bending, glass reinforced concrete, prefabricated reinforcement

Introducción

El concreto reforzado es la base primordial para la construcción del mundo. La simple unión de dos compuestos con características y propiedades mecánicas propias se convierte en tal vez el pilar fundamental del progreso físico de ciudades y países. La combinación del concreto y el acero forma un compuesto con propiedades superiores capaz de resistir los esfuerzos para los que se diseña; esto convierte al concreto reforzado en el más importante material compuesto utilizado, sobre el cual se han postulado infinidad de investigaciones y desarrollos tecnológicos a fin mejorar la capacidad propia de este.

El material compuesto es el que está formado por dos fases, una de ellas discontinua llamada refuerzo (acero o fibra), de la cual dependen las propiedades mecánicas del material elaborado y una fase continua, también llamada matriz (agregados, y material cementante) que se encarga de envolver al refuerzo y es responsable de que todo trabaje monolíticamente.

Aun cuando se entiende la importancia del acero dentro de este compuesto y su indiscutible capacidad para resistir esfuerzos de tensión, se establece también la necesidad de combinar al concreto con un material diferente, con propiedades similares o superiores, que cumpla a su vez como refuerzo, pero que no reemplace al acero; la ventaja de incluir otro tipo de compuesto en la conjunción con el concreto y permitir que no cambie el tópico universal de concreto reforzado permite adentrarse en una temática conocida, pero no desarrollada ni estudiada en la construcción colombiana.

Las fibras textiles con propiedades mecánicas similares y superiores al acero se convierten en los compuestos más eficaces para la implementación de un nuevo tipo de refuerzo dentro de un material compuesto.

Metodología

Fibra de vidrio como refuerzo en el concreto

El Comité Europeo de Normalización (CEN) aprobó en el comité técnico de marzo de 2008 las especificaciones para las fibras de vidrio destinadas al refuerzo de morteros y hormigones y se publica bajo la norma UNE-EN 15422.

Dicha norma establece “los requerimientos de las fibras de vidrio empleadas en el armado de morteros y hormigones para productos no estructurales”¹; la fibra de vidrio debe ser tipo ARy debe ser resistente a los ambientes alcalinos de matrices realizadas en cementos hidráulicos y cumplir con los requisitos establecidos. Ver tabla 1 y figura 1.

Tabla 1. Requerimientos para las fibras de vidrio empleadas en el armado de morteros y hormigones

Propiedad	Valor especificado
Contenido de circonia (ZrO ₂)	Mínimo 16%
Densidad	2.68 ± 0.3 g/cm ³
Resistencia a la tracción	1000 Mpa - 1700 Mpa
Diámetro del filamento	8 a 30 micrones
Tex del rollo	± 10% del valor nominal
Longitud de corte	± 3 mm del valor nominal
Recuento final	± 20% del valor nominal
Pérdida de ignición (materia combustible)	± 20% del valor nominal 0 ± 0.3%, el que sea mayor, sujeto a un límite superior del 3% por peso
Resistencia remanente	Categoría A ≥ 250 Mpa
	Categoría B ≥ 350 Mpa
	El valor declarado debe ser la resistencia remanente característica (fractil 5%)

Fuente: Comité Europeo de Normalización, norma UNE-EN 15422:2009.

1 Véase Comité Europeo de Normalización (CEN). UNE-EN 15422, especificaciones para las fibras de vidrio destinadas al refuerzo de morteros y hormigones. Bruselas, 2008.

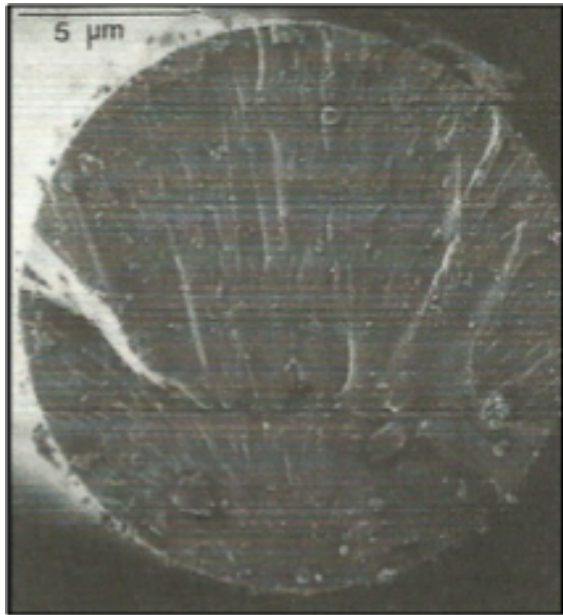


Figura 1. Corte filamento de fibra de vidrio
Fuente: Higuero (2010).

Microconcreto

Entre las características potenciales del microconcreto en un campo de aplicación asociado a las estructuras de elementos delgados se establece la no utilización de áridos gruesos y se da una reducción de la porosidad de la matriz por medio del empleo de súper plastificantes y materiales suplementarios, lo que confiere a los elementos construidos con él una alta resistencia con mínimos espesores; por esta particularidad, el material es adecuado para ser utilizado en elementos prefabricados livianos.

Los materiales constituyentes del microconcreto deben poseer características propias con relación a los elementos y a la especificación existente para la ejecución de microconcreto armado; estos apartes se encuentran en las recomendaciones establecidas por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), en la norma NBR 11173: recomendaciones para proyecto y ejecución de microconcreto armado²; además de lo anterior, se debe hacer referencia a la especificación establecida por la Asociación internacional del Concreto Reforzado con

Fibras de Vidrio (GRCA), “Specification for the manufacture, curing and testing of GRC products”³, donde se establecen los parámetros para los materiales constituyentes de un concreto reforzado con fibras de vidrio.

De esta manera, y teniendo en cuenta las características para los componentes, establecidas en la norma y especificación anteriormente nombradas, se definen los parámetros que rigen los materiales de un concreto reforzado con fibra de vidrio (CRFV).

- A. Cemento: Portland común, de alta resistencia inicial, de alto horno o cemento puzolánico.
- B. Agregado fino: debe cumplir parámetros desde el punto de vista físico o de forma, de composición química y de granulometría para poder utilizarse en la elaboración del CRFV; estos parámetros son establecidos por la GRCA en el documento “Specification for the manufacture, curing and testing of GRC products”, y en la norma del CEN, UNE-EN14649.

Parámetros físicos o de forma: la forma de las partículas debe ser redondeada o irregular con superficie lisa (figura 2).

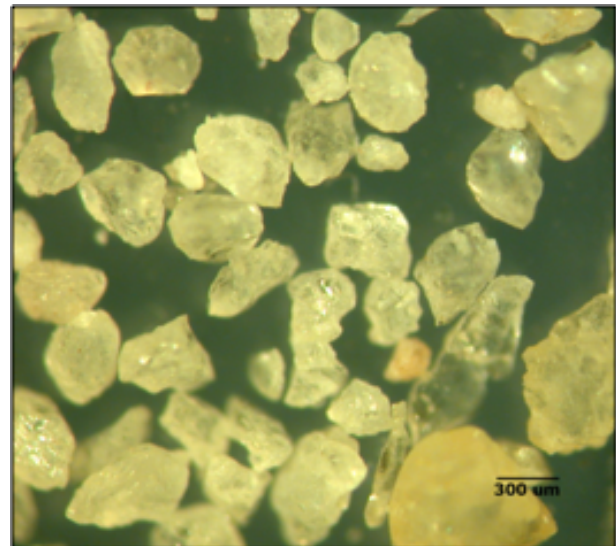


Figura 2. Partículas de arena para elaboración de CRFV
Fuente: elaboración propia.

2 Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT). NBR 11173: recomendaciones para proyecto y ejecución de microconcreto armado. www.abnt.org.br

3 Asociación internacional del Concreto Reforzado con Fibras de Vidrio (GRCA). www.GRCA.com.uk

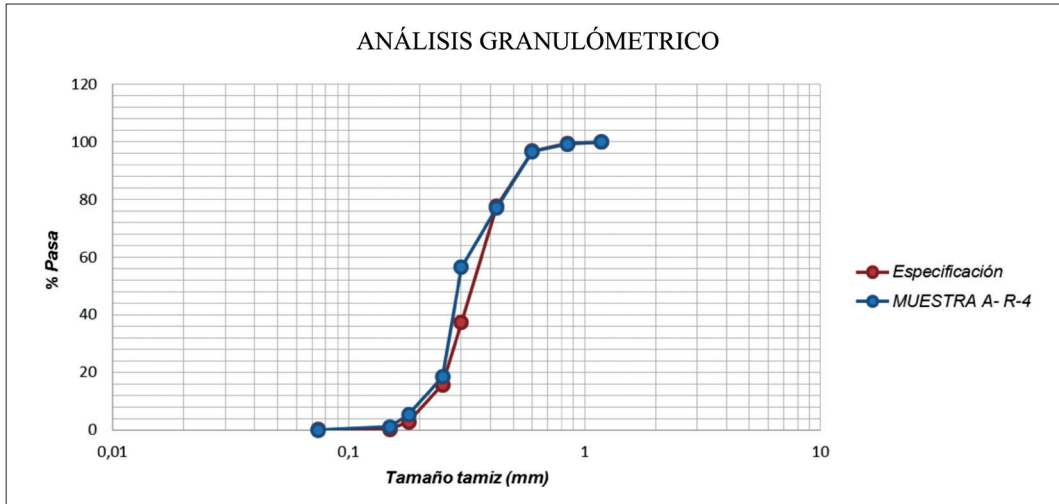


Figura 3. Granulometría óptima para microconcreto
Fuente: elaboración propia.

Parámetros químicos y granulométricos: la composición adecuada debe cumplir con las siguientes características (tabla 2 y figura 3).

Tabla 2. Parámetros químicos para el agregado fino

Parámetros químicos para el agregado fino	
Contenido de sílice	>96 %
Contenido de humedad	<2 %
Sales solubles	<1 %
Pérdida por ignición	<0,5 %
Iones de sulfato (máximo)	4000ppm
Iones de cloruro (máximo)	600ppm

Fuente: GRCA, Specification for the manufacture, curing and testing of GRC products.

C. Agua: debe asegurarse la calidad de esta de acuerdo con la normativa vigente propia de cada país; para Colombia es la NTC 3459.

D. Aditivos: se pueden adicionar, de modo que mejoren las características y propiedades del producto final; no se deben añadir aditivos que contengan cloruro de calcio, ya que esto afectaría el refuerzo de los elementos construidos.

Material compuesto = microconcreto + fibra

Los materiales compuestos ofrecen excelentes propiedades en cuanto a rigidez, resistencia y alta absorción

de energía específicas y buen comportamiento a la fatiga; presentan limitaciones en lo que se refiere a tolerancia al daño y resistencia al impacto debido a la imposibilidad de disponer de fibras en la dirección del espesor. En la figura 4 se muestran las limitaciones y características que se presentan en los materiales compuestos al ser cargados con relación a la distribución de las fibras dentro de la matriz.

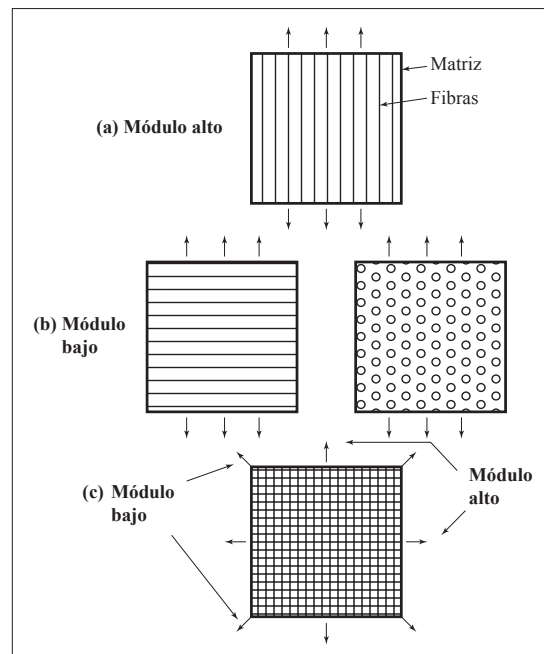


Figura 4. Características de los materiales compuestos sometidos a cargas

Fuente: Shackelford (2010).

Las fibras continuas en un material compuesto sufren las mismas de formaciones que la matriz cuando se carga el elemento en la misma dirección del refuerzo; cuando se cargan en la dirección perpendicular a las fibras, estas y la matriz están sometidas a la misma tensión y se obtiene el mismo comportamiento con materiales compuestos con partículas o refuerzos arbitrarios no direccionados; un laminado de 0 - 90° tienen direcciones de modulo alto y bajo.

Concreto reforzado con fibra de vidrio (CRFV)

Las características de este material compuesto (CRFV) dependen de varios aspectos, relacionados con la calidad de los componentes, tales como:

- A. Las propiedades de la matriz.
- B. Las propiedades, geometría, cantidad y orientación de las fibras de vidrio como elemento de refuerzo.
- C. La adherencia entre la matriz y la fibra de vidrio.
- D. Procesos de fabricación y producción.
- E. El curado de los elementos fabricados.

Las propiedades mecánicas del CRFV que se obtienen dependen del diseño de la mezcla y deben ser consecuentes con los requisitos de los elementos por fabricar. En la tabla 3 se presentan las formulaciones básicas de los valores que sirven como guía para el diseño de la mezcla.

Tabla 3. Formulaciones básicas del CRFV

Técnica de fabricación	Proceso de proyección	Premezcla
Contenido de fibras en peso (%)	3.0 a 5.5	1.5 a 3.5
Longitud de las fibras AR (mm)	≥ 25	≤ 25
Relación agua/cemento	0.35 ± 0.05	0.37 ± 0.05
Relación áridos/cemento	0.67 a 2	0.67 a 2

Fuente: Comité Europeo de Normalización, norma UNE-EN 15191:2009.

Los lineamientos utilizados en las construcciones colombianas regidas por la American Concrete Institute 211.1 y ajustadas a las características propias de los ma-

teriales y procedimientos nacionales rigen el método de diseño para un CRFV del cual se obtiene (tabla 4).

Tabla 4. Diseño de mezcla

Paso 1	
Determinación del tipo de arena	
Arena	Arena silíceas 98%
Paso 2	
Determinación de la relación agua/cemento	
a/c	0.37
Paso 3	
Selección de la consistencia	
Seca	
Paso 4	
Factores que influyen en el contenido del agua	
No aplica, la normatividad establece un contenido de agua	
Paso 5	
Determinación de la proporción 1:n	
Especificaciones y recomendaciones	0.67 a 2
Proporción	1.5
Paso 6	
Contenido de cemento	
Peso específico del cemento (g/cm³)	3.01
Densidad de la arena (g/cm³)	2.70
a/c	0.37
Proporción	1.50
Cemento (kg/m³)	795.80
Paso 7	
Determinación del contenido de agua	
a/c	0.37
Cemento + microsílíce	851.51
Agua (l/m³)	315.06
Paso 8	
Determinación del contenido de arena	
Proporción	1.50
Cemento	795.80
Arena (kg/m³)	1193.70
Paso 9	
Ajustes por humedad	
Corrección de agua (g)	4.2

Fuente: elaboración propia.

Nota: el paso 4 no se tiene en cuenta porque no afecta al diseño, debido a las recomendaciones y parámetros establecidos en la normatividad y especificaciones nombradas, así como a las propiedades de los agregados.

Prefabricados de CRFV

Para un elemento simplemente apoyado y con una carga aplicada en el centro de la luz, se obtiene por análisis de estructuras el momento máximo o momento flector, el cual está en función de la carga máxima aplicada y la longitud entre apoyos del elemento.

Realizado el análisis estático del elemento, haciendo sumatoria de fuerzas en ambas direcciones y sumatoria de momentos en uno de sus apoyos, se obtienen las reacciones en cada uno de ellos, así como el valor del esfuerzo cortante y momento máximo al cual se somete el elemento (figura 5).

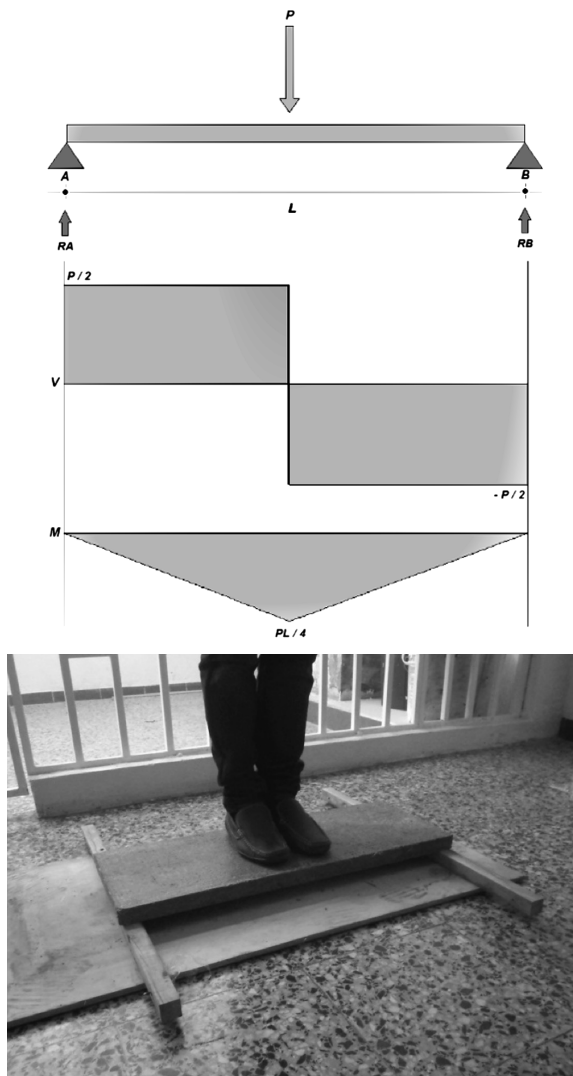


Figura 5. Diagrama básico para el diseño de placa prefabricada

Fuente: elaboración propia.

La placa prefabricada en CRFV pretende proporcionar una funcionalidad urbanística como guía para la elaboración futura de sillas, placas, graderías, mesas, fachadas, cubiertas y demás elementos de espesores mínimos que se sometan a esfuerzos de flexión. Las dimensiones del elemento dadas por el diseño para una capacidad de carga de 90 kg son: longitud: 0.80 m; ancho: 0.30 m y espesor: 0.035 m.

Para el diseño de la placa es necesario conocer, además de las cargas máximas admisibles, las propiedades de los materiales y el dimensionamiento de la sección para el método de diseño utilizado:

A. Esfuerzos de fluencia de los materiales:

- Microconcreto $f'c$: 25 MPa
- Fibra de vidrio f_y : 10 000 MPa

B. Sección transversal para diseño:

- Ancho de la sección b : 300 mm
- Altura de la sección h : 35 mm
- Altura efectiva d : 34 mm —el recubrimiento del refuerzo es mínimo, debido a que la fibra de vidrio no se ve afectada por la corrosión—.
- Separación del refuerzo s : 5 mm
- Área de la sección del refuerzo A_u : 0.26 mm^2
- Área total del refuerzo A_t : 15.6 mm^2

C. Módulos elásticos de los materiales:

- Microconcreto E_c : según NSR 10 en la sección C8.5, para un concreto de densidad normal, E_c puede tomarse como $3\,900 \sqrt{f'c}$: 19 500 MPa
- Fibra de vidrio E_f : 70 000 MPa

Resultados

Cuando un elemento es sometido a flexión, “las fibras longitudinales, inicialmente rectas, dejan de serlo alargándose o acortándose de acuerdo con su posición con relación al eje neutro de dicho elemento” (Vásquez,

1986, p. 127); las fibras superiores se comprimen mientras que las fibras inferiores se tensionan.

La falla de los elementos sometidos a flexión se presenta inicialmente en la fibra inferior más externa, la cual está sometida a tensión; por lo anterior es importante indicar que el refuerzo (fibra), el cual posee una alta resistencia a estos esfuerzos tensionantes, se ubica lo más cercano a la fibra exterior de los elementos fabricados con microconcreto con refuerzo direccionado con el fin de proveer a estos una alta resistencia a la tensión; para el direccionamiento arbitrario del refuerzo esto no aplica.

Los parámetros definidos en la normatividad aplicada y la teoría de los materiales compuestos establecieron el uso de fibras direccionadas a 0°, 90° y 0°- 90°, además de fibras con direccionamiento arbitrario (GRC) en la elaboración de especímenes sobre los cuales se determinó el comportamiento a flexión con los distintos direccionamientos de fibra (figuras 6 y 7).

Medida de la resistencia a la flexión

Los procedimientos y los resultados de la medida a flexión de los especímenes se realizaron de acuerdo con lo establecido en la normas ASTM C974-03: *Standard test method for flexural properties of thin section glass fiber reinforced concrete, using simple beam with third point loading*, para elementos reforzados con fibras, UNE EN 1170-4:1997, UNE EN 1170-5:1997, y NTC 2871: método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios) (figura 8).

Los resultados obtenidos en cada una de las probetas de una misma combinación (microconcreto-refuerzo) se muestran en la tabla 5 (véanse también las figuras 9 y 10), en que la tensión de rotura se calculó con la siguiente expresión:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R = módulo o tensión de rotura, MPa.

P = carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N.

L = distancia entre apoyos, mm.

b = ancho promedio de la probeta en la fractura, mm.

d = altura promedio del espécimen en el lugar de la fractura, mm.

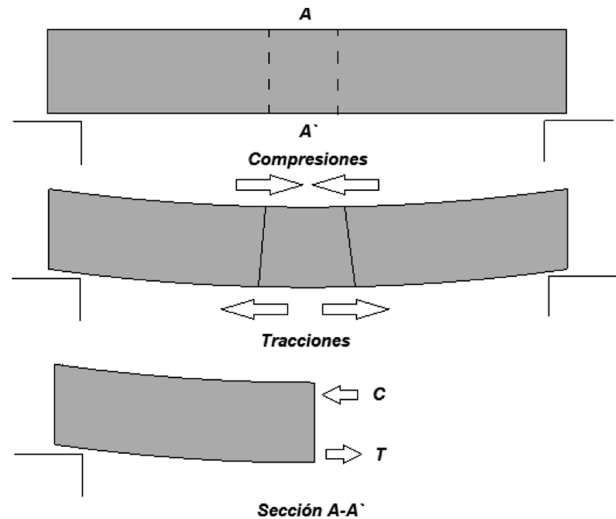


Figura 6. Esquema de un elemento sometido a flexión Fuente: elaboración propia.

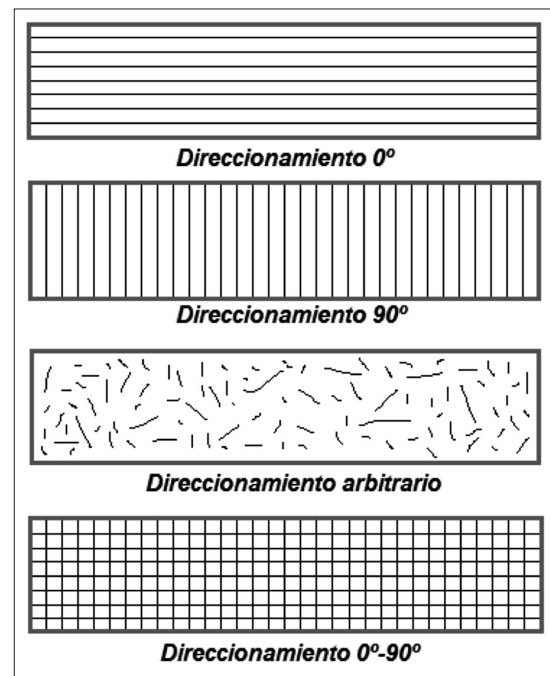


Figura 7. Esquemas de direccionamiento del refuerzo textil en las probetas Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Carga y módulos de rotura de especímenes

Probeta	Microconcreto - Refuerzo				
	Malla unidireccional 0°	Malla unidireccional 90°	GRC	Microconcreto	Malla bidireccional 0°-90°
	Tensión de rotura (Mpa) 28 días				
1	5.68	4.75	5.79	3.97	5.74
2	5.90	5.39	3.73	4.04	5.65
3	5.74	5.08	4.08	5.69	5.55
4	5.84	5.10	4.25	5.28	6.13
5	5.39	4.99	3.80	5.80	5.05
6	5.48	5.58	5.63	3.91	5.16
7	7.22	4.30	4.62	4.01	6.45
8	6.07	3.32	4.56	5.12	5.70
9	6.01	4.62	5.54	3.84	5.91
10	5.48	4.45	5.07	5.47	6.10
11	5.85	4.66	5.12	4.91	5.46
12	5.29	4.48	5.59	4.61	5.40
13	5.74	4.30	4.25	4.14	5.49
14	5.84	3.32	4.62	3.71	5.59
15	5.39	5.08	4.62	3.29	6.63

Fuente: elaboración propia.

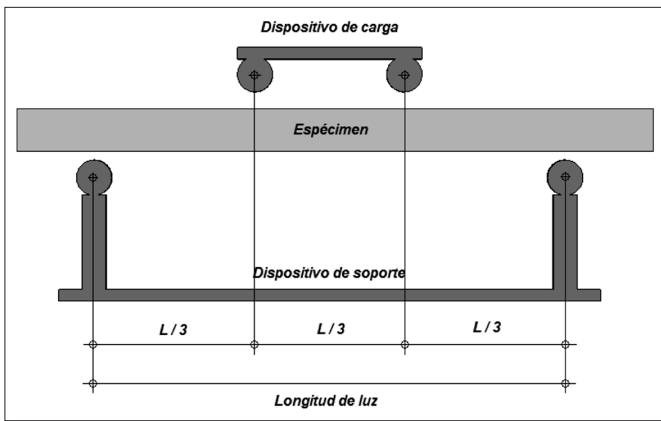


Figura 8. Aparato para la determinación de la resistencia del concreto a flexión mediante el uso del método de carga en los tercios medios

Fuente: elaboración propia.

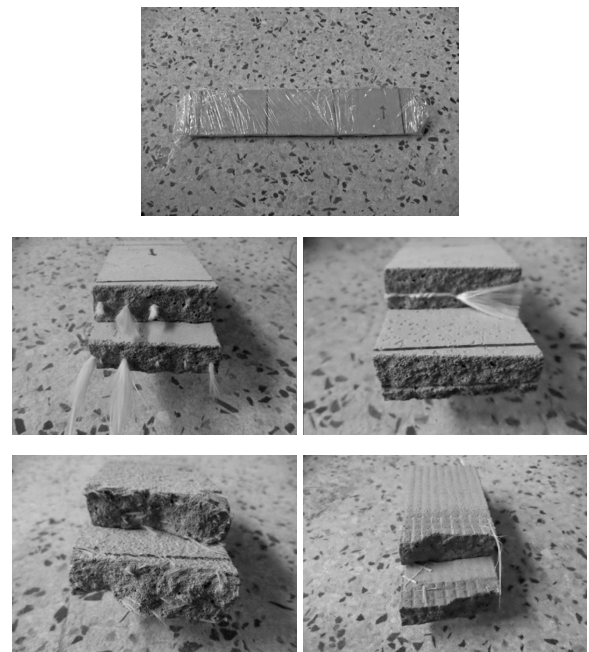


Figura 9. Probetas fracturadas en ensayos de flexión. 0° (arriba izquierda), 90° (arriba derecha), GRC (abajo izquierda) y 0°-90°

Fuente: elaboración propia.

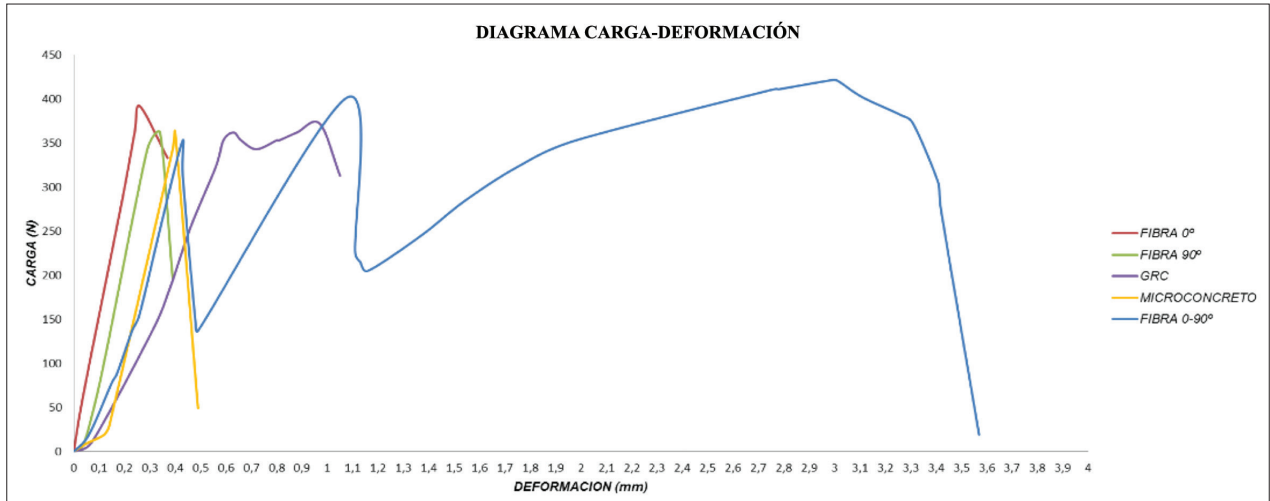


Figura 10. Digrama de carga vs. deformación de especímenes
Fuente: elaboración propia.

Módulos o tensiones de rotura (MOR)

Las tensiones de rotura de cada espécimen calculadas con la expresión dada para las diferentes combinaciones matriz refuerzo a los 28 días se registran en la tabla 5 (véase también la figura 11).

Resistencia característica

La tensión de rotura media de cada material no es representativa “en virtud de que no contempla la dispersión de valores” (Perles, 2011, p. 58); por lo tanto, se estableció la resistencia característica que precisa una idea más acertada de la tensión de rotura de cada material.

La norma UNE-EN 15191:2011 establece la resistencia característica la cual se determina con el análisis estadístico de acuerdo con la ecuación dada que establece:

$$f_{ct} = \bar{x} - kS$$

Donde:

Fct = resistencia característica.

X = promedio aritmético de tensiones de rotura.

S = desviación estándar.

K = coeficiente para estimación de resistencia característica. El valor de *K* depende de la desviación estándar

y del número de probetas. Los valores para diferentes números de probetas se extraen de la norma UNE-EN 15191:2011.

Los valores de resistencias características para cada uno de los conjuntos de probetas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Resistencias características por conjunto de probetas o material

Probetas	Resistencia característica (MPa)
Malla unidireccional 0°	4.90
Malla unidireccional 90°	3.63
GRC	3.50
Microconcreto	3.40
Malla bidireccional 0°-90°	4.92

Fuente: elaboración propia.

GRC + fibra direccionada

De acuerdo con el análisis y el comportamiento a flexión de los especímenes donde se establecen las características mecánicas de los distintos materiales o conjuntos de probetas, se experimentó la unión de dos combinaciones matriz-fibra (malla bidireccional 0°-90° y GRC), para la formación de un nuevo material compuesto con características propias superiores a todos los anteriormente analizados.

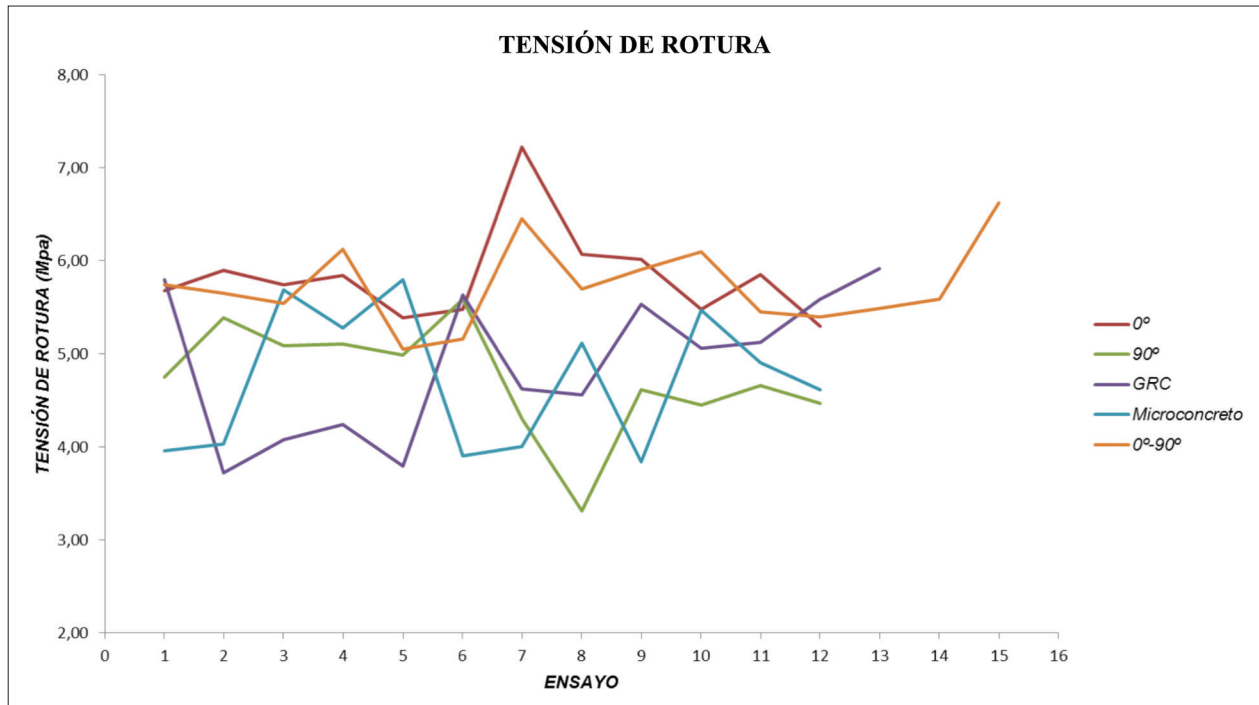


Figura 11. Tensiones de rotura

Fuente: elaboración propia.

Nota: se representan los datos graficados de las tensiones de rotura obtenidas en cada uno de los materiales a los 28 días; se puede observar cómo los valores de las probetas con refuerzo direccionado a 0° y a 0°-90° son mayores con respecto a los demás materiales.

La unión de estos dos se realizó teniendo en cuenta las tendencias y resistencias características establecidas por el análisis dado, por tanto, este nuevo material contiene características propias en los dos componentes de un material compuesto: la matriz y el refuerzo.

El GRC posee un comportamiento característico como matriz que soporta las cargas suministradas por un prolongado tiempo y la malla bidireccional 0°-90° tiene características ideales para ser utilizada como refuerzo, además de tener un valor de resistencia característica mayor al unirse al microconcreto.

Al ser este material un concreto reforzado en su matriz (microconcreto con fibra aleatoria de determinada longitud) y su exterior (malla bidireccional), se sometió al análisis para establecer su comportamiento mecánico a flexión con el fin de caracterizarlo e implementarlo en

la construcción de un elemento prefabricado (véanse tabla 7 y figuras 12, 13 y 14).

Tabla 7. Carga y módulos de rotura de especímenes en GRC + fibra direccionada

GRC + fibra direccionada	
Probeta	Tensión de rotura (Mpa) 28 días
1	7.87
2	7.63
3	8.03
4	8.89
5	7.92
6	7.66
7	9.60
8	9.00
9	7.51
10	8.55
11	8.89
12	8.45

Continúa

GRC + fibra direccionada	
Probeta	Tensión de rotura (Mpa) 28 días
13	10.02
14	8.79
15	7.48
16	7.16
17	7.21
18	7.87
19	8.54
20	7.66
21	8.58
22	8.89
23	8.20
24	8.02
25	8.55
26	9.14
27	7.81
28	11.48
29	9.29
30	8.58

Fuente: elaboración propia.

Resistencia característica: la tensión de rotura media de la unión de refuerzo y matriz especificada no es representativa, ya que no contempla la dispersión de valores; por lo tanto, es necesario establecer una resistencia característica que precise una idea más acertada de la tensión de rotura del material.

La resistencia característica se determina como se establece en la norma UNE-EN 15191:2011, donde el coeficiente K depende de la desviación estándar y del número de probetas. El valor de la resistencia característica en comparación a los demás materiales se muestra en la tabla 8.

Conclusiones

Después del proceso de investigación y desarrollo de las actividades pioneras en nuestro país destinadas a diseñar y realizar mezclas de prueba de un concreto reforzado con fibras textiles de vidrio, para evaluar su comportamiento mecánico al someterlo a cargas de flexión, se concluye la deficiencia existente de normativi-

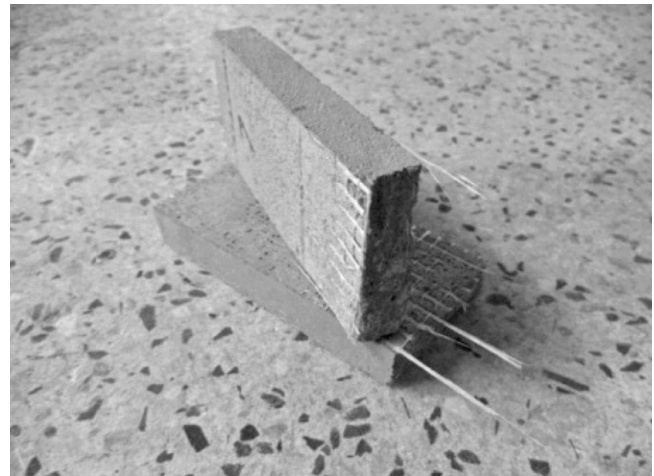


Figura 12. Probetas fracturadas en ensayos de flexión. GRC + fibra direccionada

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Resistencias características por conjunto de probetas o material

Probetas	Resistencia característica (MPa)
Malla unidireccional 0°	4.90
Malla unidireccional 90°	3.63
GRC	3.50
Microconcreto	3.40
Malla bidireccional 0°-90°	4.92
GRC + Fibra direccionada	6.83

Fuente: elaboración propia.

dad en Colombia y Suramérica en el área relacionada con los concretos reforzados con fibras no metálicas.

Además se evidencia la carencia y poco desarrollo de los componentes para la fabricación de un CRFV; en primer lugar, el refuerzo utilizado (malla) en la investigación no se fabrica ni se comercializa en nuestro país, lo cual dificulta el posterior desarrollo e implementación de análisis e investigaciones posteriores a esta; así mismo, los componentes pétreos del microconcreto –arena– óptimos para la fabricación de la mezcla no cumplen con las características dadas en la investigación y en la normatividad, ya que no existe análisis y caracterización física y química de los agregados pétreos

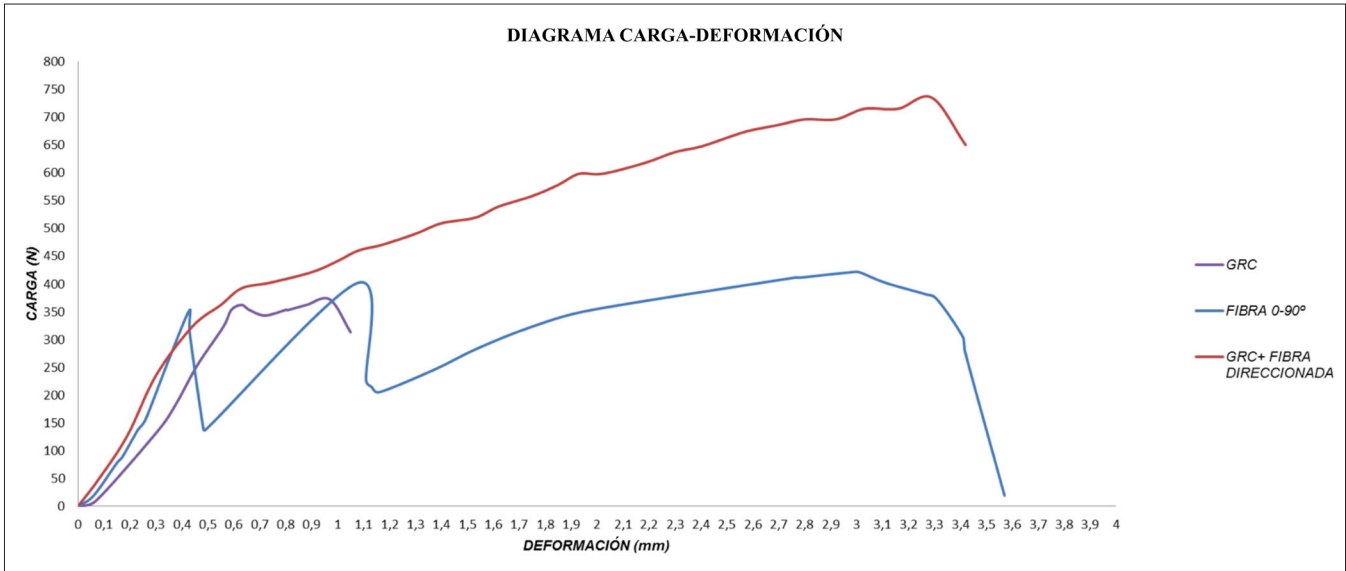


Figura 13. Diagrama de carga vs. deformación de especímenes. GRC + fibra direccionada
Fuente: elaboración propia.

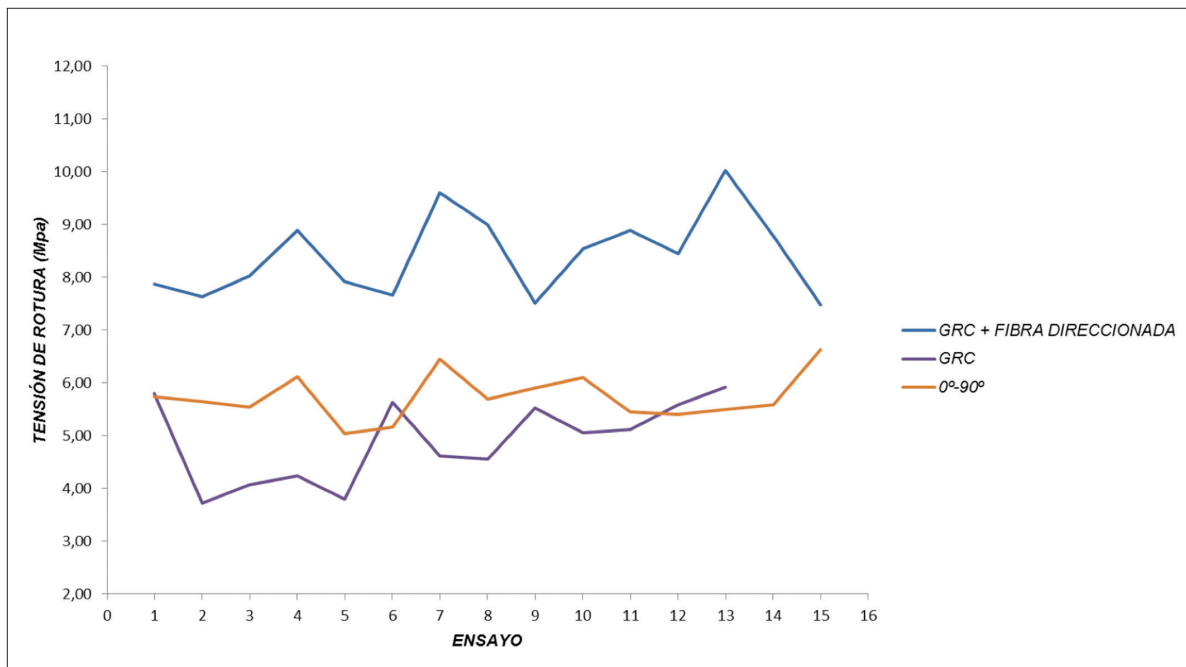


Figura 14. Comparación de módulos o tensiones de rotura, GRC, 0°-90° y GRC + fibra direccionada
Fuente: elaboración propia.

utilizados en la construcción del país, con relación al sitio y geología del lugar de extracción.

Los elementos elaborados (probetas) se caracterizan por estar fabricados como un material compuesto (matriz y refuerzo); el refuerzo es la fibra de vidrio utilizada, la

cual es tipo E y sufre una degradación en el tiempo al ser esta atacada por los álcalis del cemento; por esta razón es conveniente el uso de fibra tipo AR. La matriz es un microconcreto desarrollado con un agregado fino con características definidas en la normatividad utilizada; es parecido a un mortero, pero es un material que

presenta entre sus propiedades potenciales un campo de aplicación asociado a las estructuras de elementos delgados, dando una reducción de la porosidad y microfisuración de la matriz.

Los ensayos a flexión realizados a cada una de las probetas con sus distintos refuerzos se efectuaron bajo los lineamientos establecidos en la normatividad utilizada; todos se ejecutaron bajo las mismas condiciones con el fin de realizar una comparación eficaz, la cual arrojó que las probetas con refuerzo direccionado tienen mayores resistencias que aquellas que tienen un refuerzo arbitrario o discontinuo, y así mismo la resistencia de las probetas sin refuerzo está por debajo de las demás. Los resultados obtenidos se usaron para la elaboración y la implementación de un nuevo material compuesto con un refuerzo de fibra de vidrio discreto y laminar con una longitud de fibra discontinua y continua y un direccionamiento arbitrario y plano; es decir que el material compuesto resultado de los ensayos realizados posee un refuerzo tipo malla y en mechas cortadas a una longitud establecida y una matriz de tipo inorgánica de cemento (microconcreto).

La densidad del microconcreto con o sin refuerzo no varía con relación a los valores de un concreto tradicional; se obtienen resistencias a la flexión altas para elementos delgados.

Los ensayos de flexión realizados a la combinación final de matriz – refuerzo (GRC + fibra direccionada 0°-90°) mostraron un aumento notable en la resistencia a la flexión en comparación con las demás probetas; estos resultados se usaron como base para el análisis, diseño y fabricación de la implementación dada en la construcción de un elemento prefabricado que trabaja a flexión.

Resultados característicos con comportamientos propios evaluados de forma práctica en la elaboración de un elemento simple prefabricado, sometido a flexión y llevado hasta la rotura, evidencian las propiedades mecánicas características y propias que se mostraron en el transcurso de la investigación.

La placa de implementación se sometió a la carga de diseño (90 kg); esta reaccionó de manera favorable y no se detectó ninguna deformación ni daño visible, por lo cual se sometió a un aumento de carga progresivo hasta completar los 270 kg –tres veces carga de diseño– sin obtener daño alguno; finalmente se llevó a la rotura hasta una carga de 500 kg.

Referencias

- Higuero, V. (2010). *Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados con fibras de vidrio, aramida y carbono*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Perles, P. (2011). *Hormigón armado* (t. 1). Bogotá: Nobuko.
- Shackelford, J. F. (2010). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. Madrid: Pearson.
- Vásquez, M. (1986). *Resistencia de materiales*. Madrid: Coimpres.

Normatividad

La normatividad existente que rige el CRFV o el GRC fue aprobada en Europa, en el año 1997, por el grupo de trabajo denominado GlassFibreReinforced, del Comité Técnico CEN/TC-229. Se identifican como EN-1170 desde -1 hasta -8. No solo definen los métodos de control del CRFV o GRC ya endurecido, sino también las pruebas de calidad en proceso. Las normas vigentes son:

- UNE 88501-1:1992. Productos de cemento reforzado con fibra de vidrio. Definiciones, composición y especificaciones técnicas.
- UNE-EN 15191:2011. Productos prefabricados de hormigón. Clasificación de prestaciones del hormigón reforzado con fibra de vidrio.
- UNE-EN 15422:2009. Productos prefabricados de hormigón. Especificaciones para las fibras de vidrio destinadas al armado de morteros y hormigones.
- UNE-EN 1170-1:1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado

con fibra de vidrio. Parte 1: Medida de la consistencia de la matriz, método denominado “por exposición”.

UNE-EN 1170-2:1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 2: Medida del contenido en fibra del GRC fresco, método denominado “separación por lavado”.

UNE-EN 1170-3:1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 3: Medida del contenido en fibra del GRC proyectado.

UNE-EN 1170-4:1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 4: Medida de la resistencia a flexión, método “ensayo simplificado a flexión”.

UNE-EN 1170-5:1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 5: Medida de la resistencia a flexión, método denominado “ensayo completo a flexión”.

UNE-EN 1170-6:1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 6: Determinación de la absorción de agua por inmersión y determinación de la densidad seca.

UNE-EN 1170-7:1998. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 7: Medida de las variaciones dimensionales extremas en función del contenido de humedad.

UNE-EN 1170-8:2009. Método de ensayo para hormigón armado con fibra de vidrio. Parte 8: Ensayo de tipo de envejecimiento a la intemperie cíclico.

UNE-EN 14649:2006. Productos prefabricados de hormigón. Método de ensayo para la determinación de la resistencia remanente de las fibras de vidrio en el cemento y el hormigón (ensayo SIC).

UNE-EN 1169:2000. Productos prefabricados de hormigón. Reglas generales para el control de producción en fábrica de hormigón armado con fibra de vidrio.

La American Society for Testing and Materials (ASTM) especifica, en las normas que a continuación se relacionan, apartes sobre el concreto reforzado con fibra de vidrio.

ASTM C974-03. Standard test method for flexural properties of thin section glass fiber reinforced concrete, using simple beam with third point loading.

ASTM C948-81(2001). Standard test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass fiber reinforced concrete.

ASTM C1228-96(2004). Standard practice for preparing coupons for flexural and washout tests on glass fiber reinforced concrete.

ASTM C1229-94(2001). Standard test method for determination of glass fiber content in glass fiber reinforced concrete (GFRC) wash out test.

ASTM C1230-96(2004). Standard test method for preforming tension test on glass fiber reinforced concrete (GFRC) Bonding pads.

ASTM C1560-03. Standard test method for hot water accelerated aging of glass fiber reinforced concrete based composites.

La normatividad colombiana relacionada se expone a continuación:

NTC 1024. Hilos de fibras de vidrio para reforzar plásticos.

NTC 1213. Análisis cualitativo de fibras.

NTC 481. Análisis cuantitativo de fibras.

NTC 5214. Fibras de acero para refuerzo de concreto.

NTC 5220-1. Definiciones clasificación de fibras textiles naturales.

NTC 427. Determinación del número de hilos de urdimbre y trama de tejidos planos.

ACI 211. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, American Concrete Institute.