

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MICROCONCRETO FIBRO-  
REFORZADO CON FIBRAS DE GUADUA Y FIBRAS DE FIQUE****MECHANICAL CHARACTERIZATION OF FIBER-REINFORCED  
MICROCONCRETE WITH GUADUA FIBERS AND FIQUE FIBERS**

 Esp. José Daniel Palacios Pabón\*,  Ing. María Alejandra Capacho Carvajal\*  
 Ph.D. Jorge Sánchez-Molina\*

\* **Universidad Francisco de Paula Santander**, Grupo de Investigación en Tecnología  
Cerámica. Avenida Gran Colombia N° 12E-96, Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: (607) 5776655

E-mail: {josedanielppap, mariaalejandracc, jorgesm}@ufps.edu.co

**Cómo citar:** Palacios Pabón, J. D., Capacho Carvajal, M. A., & Sánchez-Molina, J. (2023). CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MICROCONCRETO FIBRO-REFORZADO CON FIBRAS DE GUADUA Y FIBRAS DE FIQUE. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA (RCTA), 2(42), 86–92. <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i42.2673>

Derechos de autor 2023 Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA).  
Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



**Resumen:** Las fibras son un material para reforzamiento de concreto que ha sido utilizado desde la antigüedad. El objetivo es desarrollar mezclas de microconcreto fibro-reforzados con fibras naturales. Se realizó un tratamiento químico con hidróxido de sodio para eliminar la lignina de las fibras disminuyendo la reacción alcalina entre el cemento y las fibras. Se realizaron dos mezclas de microconcreto: con fibras de guadua y fique. Para cada una de las mezclas se varió la cantidad de fibras entre 1 y 3% con el fin de determinar la proporción con mejores resultados. 12 réplicas se realizaron para cada una de las muestras. Se obtuvo que las fibras de fique con adición del 1% presenta resultados similares a microconcretos fibro-reforzado con fibras de vidrio. Mientras que las muestras reforzadas con fibras de guadua no presentan un comportamiento característico y por lo tanto no se puede identificar una adición de fibras óptima.

**Palabras clave:** Agregado, comportamiento mecánico, compuesto, concreto, fibras, fique, guadua, material orgánico, microconcreto, zona intersticial.

**Abstract:** Fibers are a concrete reinforcement material that has been used since ancient times. The aim is to develop fiber-reinforced microconcrete mixtures with natural fibers. A chemical treatment with sodium hydroxide was carried out to remove the lignin from the fibers, decreasing the alkaline reaction between the cement and the fibers. Two microconcrete mixtures were made: with guadua and fique fibers. For each of the mixtures, the number of fibers was varied between 1 and 3% in order to determine the proportion with the best results. 12 replicates were made for each of the samples. It was obtained that the fique fibers with the addition of 1% present similar results to micro-concrete fiber-reinforced with glass fibers. While the samples reinforced with guadua fibers do not present a characteristic behavior and therefore an optimal addition of fibers cannot be identified.

**Keywords:** Aggregate, composite, concrete, fibers, fique, guadua, interstitial zone, mechanical behavior, microconcrete, organic material.

## 1. INTRODUCTION

El concreto reforzado con fibras es un material de construcción utilizado desde la antigüedad, donde se fabricaba a partir de pelo de animales. Sin embargo, tras el desarrollo del concreto moderno con cemento portland, se ha determinado que existen problemas de durabilidad del concreto debido a la reacción alcalina que se genera entre las fibras de origen natural y el cemento. Dentro de las alternativas de refuerzo de fibras para el concreto, se ha estudiado el uso de fibras sintéticas: acero, vidrio, carbono, plástico, etc. Se han desarrollado diversos estudios sobre el uso de fibras sintéticas, como el estudio realizado por Campoy-Bencomo et al. (2021) quienes estudiaron la inclusión de fibras de acero en mezclas de concreto, variando el número de fibras entre 0.25 y 1.5% (Carrillo et al., 2013), desarrollaron concreto con fibras de acero y probaron su resistencia a compresión, tracción indirecta o tracción diametral y flexión (Campoy et al., 2021). Por otro lado, Peñaranda-Haro y Rincón-Urrego (2016) estudiaron el planteamiento de una alternativa a la contaminación provocada por las botellas de plástico de polietileno tereftalato (PET) que tardan 500 años en degradarse. (Quintero-Blandón y Mahecha Rico, 2016) utilizaron PET reciclado para crear un material compuesto. (Tami y Landínez, 2019), analizaron los efectos producidos sobre el comportamiento mecánico y la porosidad abierta de una matriz de concreto mediante la adición de macrofibras de PET reciclado. (Blazy y Blazy, 2021) investigaron el impacto de las fibras de polipropileno en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, así como en las propiedades ecológicas y económicas.

Por otro lado, las fibras sintéticas más utilizadas son las fibras de vidrio (GRC). El GRC se utiliza principalmente para la fabricación de placas. Han surgido diversos estudios en torno al uso de fibras de vidrio, como los estudiados por (Beltrán-Díaz et al. 2013), quienes desarrollaron un concreto reforzado con fibra utilizando textiles de fibra de vidrio con el objetivo de analizar el comportamiento a flexión. (Enfedaque et al., 2015), analizaron la fractura por falla del concreto reforzado con fibra de vidrio (GRC). (Kumar et al., 2020), estudiaron el efecto de la fibra de vidrio dentro de las mezclas de concreto, con cantidades que varían entre 0 y 1% de la masa del concreto. Sin embargo, el uso de fibras sintéticas tiende a ser costoso y genera externalidades negativas en la propia fabricación. Es por ello que el estudio del concreto reforzado con fibra ha trascendido las necesidades ambientales y de economía circular,

para lo cual se ha utilizado el uso de otro tipo de refuerzos de fibra que contribuyan a la mitigación de residuos. Los residuos agroindustriales, que no tienen un uso particular, han generado la necesidad de su aprovechamiento en la industria de la construcción. Como lo es el aprovechamiento de fibras provenientes de residuos de tallo de banano, bagazo de caña de azúcar, vaina de maíz, estopa de coco, cisco de café, entre otros. Y que también aportan propiedades significativas a la hora de aumentar la resistencia del concreto.

Se han desarrollado varios estudios en torno al uso de fibras de origen natural. (Taborda-Rios, 2017) realizó un estudio de concreto reforzado con fibra en el que utilizó bambú *angustifolia*. (Bejarano, 2019) investigó la resistencia mecánica en cilindros de concreto armado con fibras de *Guadua Angustifolia Kunth*, partiendo de una mezcla libre de fibras y realizando un análisis comparativo. (Martínez y Poveda, 2018), determinaron las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de *guadua*. La *guadua* pertenece a la familia del bambú, y su uso en la construcción se debe a su alta resistencia a la compresión, flexión y tracción. (Saavedra y Ortega, 2020), estudiaron el comportamiento mecánico del concreto armado con fibra natural de *fique*, mediante el software de análisis de elementos finitos 'Abaqus' para establecer el comportamiento mecánico de vigas y cilindros.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación realizado tiene como objetivo identificar las características mecánicas de las mezclas de microconcreto fibroreforzado con fibras de *guadua* y fibras de *fique*, con el fin de compararlas con microconcretos que no han sido fibroreforzados y con microconcretos fibroreforzados con fibras de vidrio Alcalí-Resistentes (AR).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se determinaron las propiedades mecánicas del microconcreto desarrollado con fibras de origen natural: fibras de *guadua* y fibras de *fique*. El estudio de las propiedades mecánicas condujo a la fabricación de 12 réplicas de una de las muestras. El microconcreto desarrollado tuvo dos partes: una parte es la matriz de mortero compuesto por arena, cemento, agua y aditivos; la segunda parte los fibro-reforzamientos. La matriz de mortero se fabricó con las siguientes proporciones: relación arena/cemento es 0,84; agua/cemento es 0,33; el plastificante representa el 2% de la cantidad de cemento; y el aditivo Forton VF-774 representa el

8% de la cantidad de cemento. Para un terrón de cemento estándar de 42,5 kg, las cantidades de materiales son: 37,5 kg de arena de cuarzo, 14,025 Lt de agua, 0,85 kg de Superplastificante SikaPlast® MO y 3,188 kg de Forton® VF-774. Los refuerzos de fibra se variaron en proporciones entre 1 y 3% en volumen de la cantidad total de microconcreto. Por lo tanto, las muestras de microconcreto elaborado con fibras de guadua fueron 1, 2 y 3%; las muestras de microconcreto con fibras de fique fueron 1, 2 y 3%. Dichas muestras se compararon con una muestra de microconcreto sin refuerzo y con un microconcreto con un 3% de fibras de vidrio AR.

### 2.1. Metodología para la determinación de las propiedades mecánicas del microconcreto fibroreforzado

Se estudió la resistencia a la compresión ( $R_c$ ) del microconcreto. Se fabricaron cubos de 4cm de lado (Figura 1a), los cuales fueron ensayados en una prensa hidráulica de compresión. Se midió la carga máxima soportada y se determinó la presión dividiendo la carga por el área de contacto. Se determinó el módulo de rotura por flexión (MOR) y el módulo de elasticidad ( $E_c$ ). Se fabricaron prismas de 4x4x16cm (Figura 1b) y placas de 2x15x40cm (Figura 1c), las cuales fueron ensayadas a flexión, con el fin de trazar un diagrama de dos direcciones de fuerza vs deformación. Finalmente, se midió la densidad de las muestras, dividiendo el peso por el volumen de las probetas ensayadas.

### 2.2. Metodología para la determinación del comportamiento mecánico teórico de placas de tipo mampostería con microconcreto fibroreforzado

Se realizó un análisis estadístico de los resultados presentados para cada una de las mezclas desarrolladas, comparando las 12 repeticiones entre sí, con el fin de eliminar errores de muestreo. Luego, se identificó una tendencia promedio de los resultados. Se estudiaron placas macizas de 98 cm de largo, 50 cm de alto y 12 cm de espesor. Las placas fueron analizadas para carga axial por compresión, flexión y cortante en un software de elementos finitos, además de identificar la rigidez de las placas con el fin de identificar la funcionalidad del material a utilizar en la construcción. La capacidad de soportar cargas axiales de compresión requiere conocimiento de la resistencia de la mampostería. Según el Título D de la NSR-10 (Título D de NSR-10, Reglamento

Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2017), la resistencia de la mampostería ( $f'_m$ ) puede determinarse teóricamente si se conoce el comportamiento mecánico del material, para lo cual se requiere aplicar la ecuación (1).

$$f'_m = 0.75 \left[ \left( \frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left( \frac{50 k_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \right] \quad (1)$$

De la ecuación (1) se tienen que  $h$  es la altura de la placa de mampostería en mm. Los demás factores se calculan de así  $f'_{cu} = 0.70R_c$ ,  $k_p = 1.4$ ,  $f'_{cp} = 14\text{MPa}$

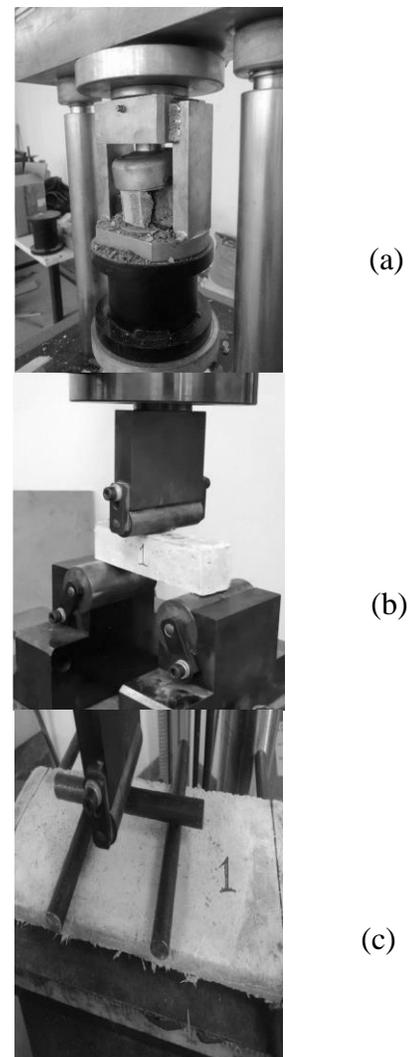


Figura 1. (a) Ensayo de compresión en cubos de 4x4x4cm. (b) Prueba de flexión en espacios en blanco de 4x4x16 cm. (c) Ensayo de flexión en placas de 2x15x40cm.

Se calcularon los esfuerzos teóricos máximos que pueden soportar placas sólidas de 12x50x98cm. Los esfuerzos calculados fueron: carga axial ( $P_u$ ) con la ecuación (2); momento de fisuración ( $M_{cr}$ ) con la ecuación (3); cortante ( $V_u$ ) con la ecuación (4); y la rigidez ( $K$ ) con la ecuación (5).

$$P_u = 0.60 * 0.80 \left\{ 0.85 f'_m A_e \left[ 1 - \left( \frac{H}{40e} \right)^3 \right] \right\} \quad (2)$$

$$M_{cr} = e * l_w^2 * MOR \quad (3)$$

$$V_u = 0.60 * 100 * \sqrt{f'_m} * A_e \quad (4)$$

$$K = \frac{1}{\frac{H^3}{12E_c I} + \frac{1.2H}{GA_e}} \quad (5)$$

De la ecuación (2), ecuación (3), ecuación (4), ecuación (5),  $A_e = 0.0654m^2$ ,  $H = 2.50m$ ,  $I$  es el momento de inercia de la sección de la placa y  $G = 0.4E_c$ .

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se realizaron las curvas de tendencia promedio para cada una de las muestras de microconcreto fibroreforzado con fibras de fique y fibras de guadua, variando la proporción entre 1 y 3%. Las curvas se contrastaron con las gráficas para microconcreto sin refuerzo y reforzado con fibra de vidrio. En la figura 2a se muestran las curvas del microconcreto con fibras de fique (FRC-1), en las cuales se puede apreciar que todas las mezclas tienen comportamientos muy similares a las muestras con fibras de vidrio y además se evidencia un comportamiento mejorado a la salida de la muestra sin fibra de refuerzo. Además, se puede observar que la mezcla con 1% de fibras de fique tiene una pendiente de la gráfica muy similar en la zona elástica, por lo que se deduce un módulo de elasticidad similar. Por otro lado, la mezcla con un 3% de fibras alcanza una tensión de rotura muy superior, superior a 1,5 mm, similar al GRC, por lo que se puede definir dicha mezcla como la de mayor ductilidad.

La Figura 2b muestra las curvas de carga vs. deformación de las muestras de microconcreto con fibras de guadua (FRC-2) contrastadas con las muestras de microconcreto sin refuerzo y reforzado con fibra de vidrio. Es evidente en los gráficos que existe una diferencia notable entre todas las

mezclas desarrolladas. Las muestras con 1 y 2% de fibras de guadua son muy elásticas y de baja rotura, similar a la mezcla sin refuerzo de fibras. Lo que indica que dichas mezclas no estarían dando un aporte significativo al microconcreto. Por otro lado, la mezcla con 3% está lejos de los resultados esperados, ya que no alcanza la rigidez y el módulo elástico de ruptura para el que fue diseñada. Por lo tanto, se puede concluir que las mezclas con fibras de guadua requieren de un tratamiento diferente para ser incluidas en las mezclas de microconcreto.

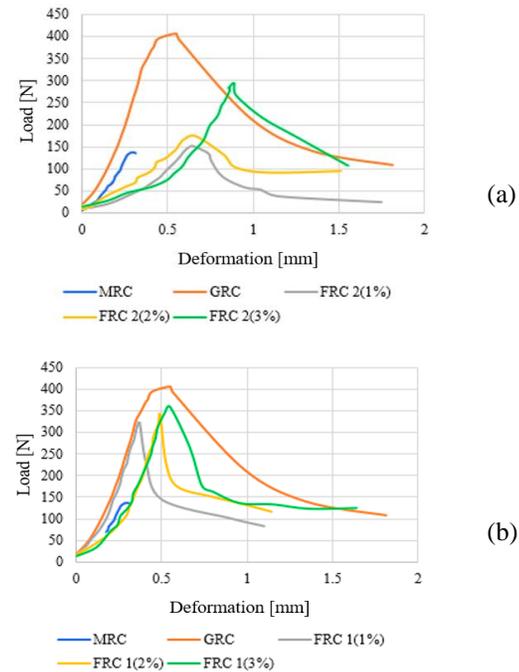


Fig. 2. (a) Curvas de carga vs. deformación de la muestra FRC-1 (fibras de fique). (b) Curvas de carga frente a deformación de la muestra FRC-2 (fibras de guadua). Comparado con curvas de MRC (sin fibras) y GRC (fibras de vidrio AR).

En la Tabla 1 se muestran las propiedades mecánicas obtenidas a partir de los ensayos de compresión y flexión realizados. Como se mencionó en párrafos anteriores, la mezcla de FRC-1 presenta resultados similares a la de GRC, siendo la muestra con 1% de fibras de fique la de mejor comportamiento. El FRC-1 (1%) alcanza el 77% del módulo de rotura a flexión del GRC y supera 1,4 veces el módulo de rotura del MRC, supera en un 6% la resistencia a la compresión del GRC, alcanzando el 83% de la resistencia a la compresión del MRC. La rigidez del FRC-1 (1%) expresada en módulo de elasticidad alcanza el 95% de la obtenida con el GRC. Es decir, agregar un 1% de fibras de fique a las mezclas de microconcreto

contribuye a lograr el 90% de los resultados que se obtendrían con GRC. Por lo tanto, las fibras de fique son una alternativa viable a las fibras de vidrio AR (dejando como primer paso el estudio de la durabilidad a largo plazo del microconcreto con fibras de fique).

*Table 1. Mechanical properties of the developed microconcrete.*

Muestra	MOR [MPa]	Rc [MPa]	Ec [GPa]	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]
MRC	4.52	43.40	20.46	1.98
GRC	13.79	34.05	26.58	2.07
FRC-1	1%	10.66	36.12	25.38
	2%	11.21	32.73	21.57
	3%	11.88	24.74	21.45
FRC-2	1%	4.99	38.92	14.06
	2%	5.74	29.05	14.58
	3%	9.70	18.21	18.23

Donde: MOR es el módulo de flexión de ruptura; Rc es la resistencia a la compresión; Ec es el módulo de elasticidad; MRC es microconcreto sin refuerzo; GRC es microconcreto reforzado con fibra de vidrio; y FRC es microconcreto reforzado con fibras naturales (FRC-1 con fibras de fique y FRC-2 con fibras de guadua).

Como muestra la Tabla 1, hay evidencia de dispersión en los resultados de las muestras de FRC-2. Si bien se observa que al agregar más fibras de guadua se pueden obtener mejores resultados de módulo de ruptura, la resistencia a la compresión disminuye y, a su vez, el módulo de elasticidad es muy inferior al esperado. Si solo se analiza el módulo de ruptura, se evidencia que la mejor mezcla de FRC-2 es con 3% de fibras de guadua, ya que la mezcla es 70% de la obtenida para la muestra de GRC y 2 veces mayor que la obtenida para la muestra GRC. Ejemplo de CRM. Ahora bien, si se contrasta la resistencia a la compresión, se observa que la mejor mezcla es la de FRC-2 con 1% de fibras de guadua, ya que la resistencia alcanza un 14% más que la de GRC y el 90% de la resistencia de la MRC. Mientras que la muestra FRC-2 es con un 3% de fibras de guadua, solo alcanza el 53% de la resistencia del GRC y el 42% de la resistencia del MRC y el módulo de elasticidad del FRC-2 está entre el 53% y el 69% de la rigidez lograda con el GRC. En otras palabras, no es posible identificar una mezcla de microconcreto fibroreforzado con fibras de guadua que tenga un comportamiento similar al GRC.

La Tabla 2.1 y la Tabla 2.2 presentan las características mecánicas teóricas de las placas sólidas de 12x50x98cm, de acuerdo con la

ecuación (1), ecuación (2), ecuación (3), ecuación (4) y ecuación (5). Se observa que la placa MRC soporta la mayor carga de compresión axial, sin embargo, resiste el menor momento de fisuración en comparación con las demás mezclas. Ahora bien, si se comparan las mezclas de FRC con las de GRC, se evidencia que las mezclas con 1% de fibras, tanto de guadua como de fique, soportan cargas axiales y de corte superiores a las de GRC, lo que indica que dichas mezclas son edificantes para su uso en Muros tipo mampostería. Sin embargo, teóricamente, las mezclas con 3% de fibras, tanto de guadua como de fique, tienen mejor funcionalidad si se utilizan en flexiones.

*Tabla 2.1. Características mecánicas teóricas de placas macizas de 12x50x98cm. Resistencia y rigidez.*

Muestra	f'm [MPa]	K [kN/m]
MRC	15	80862.22
GRC	12	105049.75
FRC-1	1%	13
	2%	11
	3%	9
FRC-2	1%	13
	2%	10
	3%	7

*Tabla 2.2. Características mecánicas teóricas de placas macizas de 12x50x98cm. Carga axial, momento de agrietamiento y cortante.*

Muestra	Pu [kN]	Mcr [kN-m]	Vn [kN]
MRC	342	10	15
GRC	271	32	13
FRC-1	1%	287	25
	2%	261	26
	3%	200	27
FRC-2	1%	308	12
	2%	233	13
	3%	150	22

Las mezclas de microconcreto con fibras de fique tienen mejor funcionalidad en cuanto a la ductilidad del material, ya que presentan mayor rigidez y mayor momento de fisuración que las mezclas con fibras de guadua. En otras palabras, estas mezclas de concreto pueden soportar una mayor carga con menor deformación y, a su vez, el momento en que comienza a fisurarse es mucho mayor, lo que indica que son hormigones que no requieren acero de refuerzo para funcionar correctamente.

La figura 3a muestra el modelado matemático en software de elementos finitos de placas sólidas de 12x50x98cm cuando se trabaja con flexo-

compresión. Las cargas utilizadas para la modelación resultan de un análisis de transferencia de carga de un sistema de mampostería estructural para viviendas de una sola planta. Es evidente que las fuerzas de compresión se concentran en las esquinas superiores y en la parte central inferior. Dicho comportamiento se debe a las reacciones internas que va generando el sistema para controlar las deformaciones de las placas. Los valores máximos de carga rondan los 200kN, por lo que se puede deducir que todas las muestras desarrolladas tienen capacidad para soportar cargas de compresión, excepto el microconcreto con un 3% de adición de fibras. Sin embargo, para el control de momentos se requiere el uso de acero de refuerzo en el caso de MRC y FRC-2: Mientras que las mezclas de GRC y FRC-1 tienen la capacidad de soportar momentos

La Figura 3b muestra el modelado matemático en software de elementos finitos de placas sólidas de 12x50x98cm cuando trabajan en flexión y cortante. La concentración de momentos se observa en el centro del vano mientras que en los apoyos los momentos son mínimos. Siendo el momento mayor 15.6kN-m. Por tanto, las placas de concreto capaces de soportar dichos momentos en toda la placa son las mezclas GRC y FRC-1, cuyos valores de  $M_{cr}$  se encuentran entre 24,57 y 31,79 kN-m. Mientras que las mezclas de MRC y FRC-2 resisten momentos entre 10.42 y 13.23kN-m, lo que significa que se requiere acero de refuerzo para soportar los pedidos de carga. Aunque la mezcla con la adición de un 3% de fibras de guadua pudo resistir los momentos solicitados.

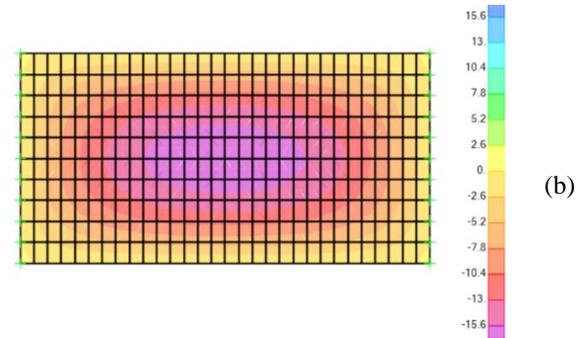
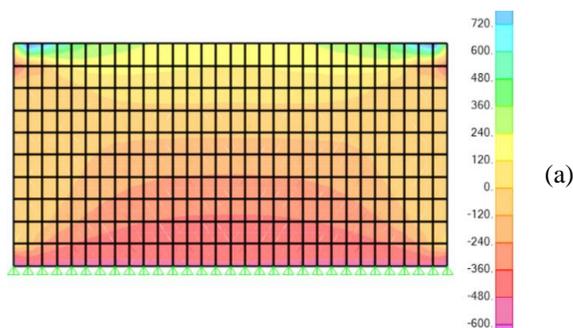


Figura 3. (a) Flexo-compression behavior of 12x50x98cm solid plates. (b) Bending and shear behavior of 12x50x98cm solid plates.

#### 4. CONCLUSIONES

Se desarrollaron dos mezclas de microconcreto reforzado con fibra con fibras naturales; uno con fibras de fique y el otro con fibras de guadua. Se realizó un análisis del comportamiento mecánico de estas mezclas y se contrastaron los resultados con mezclas de microconcreto sin refuerzo y con microconcreto fibroreforzado con fibra de vidrio resistente a los álcalis. Se obtuvo que las mezclas con 1% de fibras de fique tienen características similares a las reforzadas con fibra de vidrio. Lo que indica que las fibras de fique pueden ser precursores de reemplazo de las fibras de vidrio. Por otro lado, se realizó un análisis de las mezclas de microconcreto para ser utilizadas como placas tipo mampostería para uso en muros y losas. Al igual que en el comportamiento del material, las placas funcionan mejor con microconcreto con fibras de fique y fibras de vidrio. Ya que las planchas con fibras de guadua y sin fibra de refuerzo requieren acero de refuerzo para garantizar su correcto funcionamiento.

#### AGRADECIMIENTOS

El proyecto se desarrolló gracias a los recursos otorgados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (MinCiencias) según convocatoria 891 de 2020, y a cambio de los gastos en insumos y materiales otorgados por la Universidad Francisco de Paula Santander a través de la FINU 002 de 2021.

Contribuciones de autor: Conceptualización, trabajo de laboratorio, análisis de resultados: Jóvenes investigadores adscritos a la convocatoria 891 de 2020 de MinCiencias: J. D. Palacios y M. A. Capacho. Tutor del proyecto de investigación: J. Sánchez. Financiamiento de recursos del Proyecto

de Investigación: Universidad Francisco de Paula Santander. Financiamiento de recursos Investigadores: MinCiencias - Colombia. Redacción y edición: J. D. Palacios. Revisión y aprobación: J. Sánchez.

## REFERENCIAS

- Campoy, N. A. Gaxiola J. R. Chávez O. Millán J. R. Rojas E. y Hernández, D. (2021). Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XXII, no 1, pp. 1-11, 2021. doi: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.2.1.007>
- Carrillo, J., Aperador, W. y González, G. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero”, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XIV, no. 3, pp. 435-450. doi: [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72256-X](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72256-X)
- Peñaranda, M. A. y Rincón, M. A. (2016). Análisis comparativo del comportamiento a flexión y compresión del concreto con adición de macro-fibras de plástico reciclado”, trabajo de grado, Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta, Colombia.
- Quintero, C. F. y Mahecha, J. D. (2016). Propiedades mecánicas de un concreto reforzado con fibras de PET reciclado”, trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Tami, J. S. y Landínez, P. A. (2019). Análisis del desempeño mecánico y de porosidad de una matriz de concreto reforzado con diferentes porcentajes de fibras de tereftalato de polietileno (PET) reciclado” *Proceeding San José de Cúcuta: 6th International Week of Science Technology & Innovation*.
- Blazy, J. y Blazy, R. (2021). Polypropylene fiber reinforced concrete and its application in creating architectural forms of public spaces”, *Case Studies in Construction Materials*., vol. 14, no. e00549, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00549>
- Beltrán, A. García, E. G., y Pastrán C. (2013). 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 Tekhnê*, vol. 10, no. 1, pp. 5-18.
- Enfedaque, A., Gálvez, J. C. y Suárez, F. (2015). Analysis of fracture tests of glass fibre reinforced cement (GRC) using digital image correlation, *Construction and Building Materials*, vol. 75, pp. 472-487. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.031>
- Kumar, D., Rex, L. K. S. V. S., Gokulnath, V. y Saravanan, B. (2020). High performance glass fiber reinforced concrete” *Materials Today: Proceedings*, vol. 33, no. 1, pp. 784-788. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.174>
- Taborda, J. A., Cañas L. A., y Tristancho, J. L. (2017). Comparative study of the mechanical properties of the polyester resin reinforced with bamboo fiber as the substitute material fiberglass, *DYNA*, vol. 84 no. 202, pp. 35-41, 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n202.57334>
- Bejarano D. F. (2019). Estudio de la resistencia mecánica del concreto reforzado con fibras de guadua angustifolia Kunt”, trabajo de Grado, Universidad Católica de Colombia: Bogotá, Colombia.
- Vanegas, O. L., Martínez, J. S. y Poveda, J. A. (2019). Investigación formativa en ingeniería Tercera Edición, *Editorial Instituto Antioqueño de Investigación*, pp. 96-105. doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3387691>
- Martínez, J. S. y Poveda, J. A. (2018). Evaluación de la utilización de las fibras de guadua como refuerzo del concreto para minimizar el proceso de Fisuración. Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia: Bogotá, Colombia.
- Saavedra, J. A. y Ortega, C. C. (2020). Comportamiento mecánico a la flexión y compresión del concreto reforzado con fibra de fique en vigas y cilindros”, trabajo de grado), Universidad Católica de Colombia: Bogotá, Colombia.
- Título D de NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, (2017). Título D de NSR-10.

## SITIOS WEB

- Sika. (2022). *Fibras para concreto y mortero*, [En línea]. Disponible en: <https://col.sika.com/es/construccion/concreto/produccion-de-concreto-mortero-y-cemento/fibras-para-concreto-y-mortero.html>. [Accedido: 24-nov-2022]