



RESISTANCE TO COMPRESSION OF CONCRETE REINFORCED WITH POLYPROPYLENE FIBER

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRA DE POLIPROPILENO

Humberto Obando-Guillermo¹; Zully Carranza-Muñoz¹; Janina Díaz-Quepuy¹; Diego Serrano-Otoya¹ & Sócrates Muñoz-Pérez^{1*}

¹ Universidad Señor de Sipán. Campus Universitario, km. 5 Carretera Pimentel. Chiclayo, Perú.

* Corresponding author: msocrates@crece.uss.edu.pe

Obando Guillermo-Humberto: <https://orcid.org/0000-0002-1324-9812>

Carranza Muñoz-Zully: <https://orcid.org/0000-0002-9377-4798>

Díaz Quepuy-Janina: <https://orcid.org/0000-0003-1960-9222>

Serrano Otoya-Diego: <https://orcid.org/0000-0001-9315-8410>

Muñoz Pérez-Sócrates: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

ABSTRACT

The qualities of polypropylene fibers accompanied by ideal materials such as concrete, have brought solid and resistant structures to all types of construction such as pavements, tunnels, roads, among others. The purpose of this paper is to examine the behavior of concrete reinforced with different types of fiber, including polypropylene fiber, in order to know its reaction to mechanical processes. A review of 50 articles was carried out between 2010 and 2021, including Scopus, Scielo, ScienceDirect and EBSCO databases, analyzing the effects of fibers and their influence on the compressive strength of concrete. In order to know the improvements in the strength of concrete using polypropylene fiber, the results obtained with different dosages of this fiber are presented. We conclude that the use of polypropylene fiber generates the following changes in the properties of the concrete: 1) Increase in its tensile capacity; 2) Decrease in the workability of the concrete and, 3) Increased ductility of the concrete.

Keywords: Compressive strength – concrete – polypropylene fibers

RESUMEN

Las cualidades de las fibras de polipropileno acompañadas de materiales ideales como hormigón, ha traído consigo estructuras sólidas y resistentes a todo tipo de construcción como pavimentos, túneles, carreteras, entre otros. El presente documento tiene como objetivo examinar el comportamiento del hormigón reforzado con distintos tipos de fibra incluyendo la fibra de polipropileno, con la finalidad de conocer su reacción frente a procesos mecánicos. Se realizó la revisión de 50 artículos entre los años 2010 al 2021, entre las que destaca las bases de datos de Scopus, Scielo, ScienceDirect y EBSCO, analizando los efectos de las fibras y la influencia que tiene en la resistencia a la compresión de hormigones. Con la intención de conocer las mejoras en la resistencia del concreto utilizando fibra de polipropileno, se presentan los resultados obtenidos con diferentes dosificaciones de esta fibra. Concluimos con que el uso de la fibra de polipropileno genera los siguientes cambios en las propiedades del concreto: 1) aumento en su capacidad a tracción; 2) disminución de la trabajabilidad del hormigón, y 3) mayor ductilidad en el concreto.

Palabras clave: Fibras de polipropileno – hormigones – resistencia a la compresión

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas han surgido elementos que refuerzan los materiales frágiles para estructuras homogéneas y resistentes a todo tipo de procedimientos de construcción reforzados con fibra (Meza de Luna *et al.*, 2014; Arráez *et al.*, 2018). Dando como resultado las características de materiales aglomerantes en presentación de hormigones o morteros, convirtiéndolo en pieza clave para un adecuado uso estructural.

Las fibras más empleadas para el refuerzo de hormigón son: fibras de acero, de vidrio, sintéticas (carbón, nylon, polipropileno, etc.) y fibras na-

turales de origen distinto (Flor *et al.*, 2019, Martín, 2020).

En nuestro caso, ha sido necesario estudios para conocer el comportamiento dinámico del hormigón reforzado con fibra de polipropileno en cargas de impacto para su diseño y aplicación. (Lei *et al.*, 2020). Los hormigones de muy alta resistencia poseen propiedades mecánicas mucho más elevadas que las que presenta un hormigón convencional (García & Hernández, 2017; Cifuentes *et al.*, 2020; Zycinski *et al.*, 2020).

Cabe mencionar, que los hormigones con fibras de polipropileno deberán cumplir las normativas determinadas,

además de pasar por el estricto control de fabricación establecida en las Normas UNE 83500-2.1989 (CTE, Código Técnico de la Edificación, 2020). Entre las principales ventajas se encuentran: la alta resistencia a la corrosión, fuerte estabilidad química y alta resistencia al impacto (Li *et al.*, 2020).

Una de los principales limitaciones para la utilización del hormigón armado con fibras es el alto costo que posee, específicamente en América Latina, no obstante, su rendimiento mecánico y utilidad en la construcción de estructuras de hormigón armado, llega a resultar bastante económico el uso de las fibras de acero en el concreto porque al añadir las fibras de acero reducen los tiempos de construcción brindando mayor refuerzo por cortante y tenacidad en los muros de concreto (Carrillo & Páramo, 2016; Muñoz *et al.*, 2021).

En la actualidad, existen dos tipos principales de FRC, respectivamente, FRC de módulo elástico alto y bajo correspondientes al hormigón reforzado con fibra de acero (SFRC) y al hormigón reforzado con fibra de polipropileno

(PFRC) (Huang *et al.*, 2020).

Por lo tanto, será de suma importancia analizar el tipo de fibra idóneo para el hormigón desde sus diferentes aspectos a considerar, teniendo como bases diversas para comprender las propiedades y la relación del hormigón reforzado con fibra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 50 artículos para obtener la información pertinente en el estudio. Las principales fuentes o base de datos fueron los artículos científicos y revistas científicas de: Scopus, Scielo, ScienceDirect, EBSCO, entre otros. Los años en que se publicaron los artículos son cuatro del año 2010 al 2013, 10 del año 2014 al 2017 y 36 del año 2018 al 2021. Para la búsqueda de los artículos se emplearon palabras claves tanto en español como en inglés: “resistencia a la comprensión de hormigones”, “hormigones reforzados con fibra de polipropileno” y “fibra de polipropileno”.

A continuación, se observa la tabla 1 de acuerdo a la base de datos y el año de la publicación de la revista.

Tabla 1. Artículos usados, según base de datos y año de publicación.

Base de datos	Año de publicación			Total
	2010-2013	2014-2017	2018-2021	
Scopus	0	1	15	16
Scielo	2	1	6	9
ScienceDirect	1	5	0	6
EBSCO	0	0	9	9
Latindex	0	0	1	1
Redalyc	1	0	1	2
IIETA	0	0	1	1
ProQuest	0	3	3	6
Total	4	10	36	50

Las fuentes consideradas han sido esenciales para verificar y plasmar la información correcta y adecuada en la revisión sistemática del uso de las fibras de polipropileno en la resistencia del hormigón. Posteriormente, los resultados fueron compilados en una bitácora de búsqueda, creada en una hoja de cálculo para luego ser organizadas con Mendeley.

Aspectos éticos

Los autores manifiestan que se cumplieron con los principios y normativas éticas nacionales e internacionales para poder realizar la presente investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un resumen de los resultados básicos obtenidos de los artículos investigados se presenta en la Tabla 2 y 3.

Tabla 2. Comparación de la resistencia a la compresión con diferentes fibras al concreto.

Tipo de fibra	Contenido de cemento (kg/m ³)	Relación agua cemento (a/c)	Tipo de cemento	Contenido de fibra (kg/m ³) (%)	Resistencia a los 28 días f _c (Mpa)	Referencia
Vidrio resistente a alcalis (ARGF) + Polipropileno (PPF)	300	0,42	Cemento Portland tipo I	26.8 de mezcla (80% ARFG + 20% PPF)	32	(Otunyo & Odebiyi, 2018)
Basalto (dispersión de haz)	388	0,5	Cemento Portland	8	40	(Branston <i>et al.</i> , 2016)
Basalto (minibares)				8	39	
Vegetal	384	0,6	Cemento Portland	1,92	34,11	(Nascentes <i>et al.</i> , 2019)
Basalto					67,4	
Polipropileno	ND	0,2	Cemento Portland Ordinario	0,5	72,6	(Yan <i>et al.</i> , 2021)
Vidrio					75,5	
Metálica	383	0,5	Cemento Portland Ordinario	0,5	26,43	(Vairagade & Kene, 2013)
Sintética				0,4	26,03	

Continúa Tabla 2

Continúa Tabla 2

Vidrio	321	0,58	Cemento Portland Ordinario	0,8	24,2	(Subandi <i>et al.</i> , 2019)
Polipropileno	380		Cemento Portlan	4,32	44	(Lu, 2013)
Acero	383	0,5	Cemento Portland Ordinario	11,74	35,8	(Vairagade & Kene, 2013)
Polipropileno				1,53	35,4	
Polipropileno	512	0,3	Cemento Protland tipo II	8	66,9	(Shen <i>et al.</i> , 2020)

ND: No definido.

Tabla 3. Comparación de la resistencia a la compresión con diferentes fibras al concreto.

Tipo de fibra	Contenido de cemento (kg/m ³)	Relación agua cemento (a/c)	Tipo de cemento	Contenido de fibra (kg/m ³) (%)	Resistencia a los 28 días f _c (Mpa)	Referencia
Polipropileno	350	0,4	Cemento Portland	0,35%	5,92	(Hatami <i>et al.</i> , 2020)
Cabello humano	365	0,55	Cemento Portland Ordinario	3%	38	(Santos <i>et al.</i> , 2020)
Carbono	496	0,4	Cemento Sulfoaluminato	12,48	50	(Zhou <i>et al.</i> , 2013)
Vidrio	390	0,55	Cemento Portland Ordinario	6,5	41,6	(Ali & Qureshi, 2018)
Yute	320	0,3	Cemento Portland Ordinario	0,35	31,82	(Deb <i>et al.</i> , 2020)
Polipropileno				3	32,45	

Continúa Tabla 3

Continúa Tabla 3

Acero	321	0,58	Cemento Portland tipo I	60	38,7	(Carrillo <i>et al.</i> , 2017)
Carbono	360	0.45	Cemento Portland CEM	17,6	69	(Kizilkanat, 2016)
Basalto			Cemento Portland CEM I	54	119,8	(Smarzewski, 2018)
Polipropileno	670	0,28		9	104,6	

Fibra de Polipropileno.

Según la investigación de Yang *et al.* (2019) y Liang *et al.* (2020) el hormigón ordinario tiene una resistencia de soporte baja, se agrieta fácilmente y es propenso a fallar por fragilidad, mientras que el hormigón reforzado con fibra de polipropileno tiene un buen efecto inhibitor sobre la propagación de la grieta y puede mejorar notablemente el rendimiento posterior a la fisuración y la tenacidad del hormigón. Igualmente, Mendoza *et al.* (2011) expresan que el uso de fibra de polipropileno con dosificación de $3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ de concreto reduce considerablemente el agrietamiento por contracción plástica.

La fibra de polipropileno es un material sintético orgánico y en su composición el material principal es resina de polipropileno modificado (Zerbino, 2020). La fibra de polipropileno tiene características tanto de fibra sintética como de fibra de acero (Armas, 2016).

Las principales características de la fibra de polipropileno incluyen (Yang *et al.*, 2019):

1. Fuerte tenacidad y daños muy pequeños e incluso insignificantes en las herramientas de mezcla y las herramientas de transporte.
2. Resistencia a ácidos y álcalis hasta más del 98% y buena prevención de la oxidación.
3. Maquillaje muy ligero y fino, un diámetro de 0,8 – 1,0 mm, y fácil transporte y mezcla con concreto de apariencia fina, color similar al cemento y color sutil cuando se mezcla con concreto.
4. Un alto factor de seguridad sin peligros de ningún tipo.

Los resultados demuestran que conforme va aumentando la cantidad de fibra, aumenta la resistencia a la compresión, pero el aumento es muy pequeño. Este cambio se realiza considerando el promedio de resistencia a la compresión con valores de Cemento Portland con ceniza volante (CEM II/B-V 42,5R).

Por otro lado, el promedio de resistencia a compresión de Cemento sin adiciones con gran reserva alcalina (CEM I/52.5) evidencia que con la adición de fibras se logra una caída de resistencia inicial y conforme se va añadiendo cantidades de fibra mayor se produce un aumento en la resistencia según lo mostrado en la tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje de incremento a la compresión según dosis de fibra de polipropileno (Armas, 2016).

f_c	Dosis Fibra $g \cdot m^{-3}$	F_c 28 días	%incremento de resistencia
175	0	181,82	0,00
	200	183,29	0,81
	300	186,6	2,63
	400	187,23	2,97
	0,00	209,95	0,00
210	200,00	211,75	0,86
	300,00	215,68	2,73
	400,00	216,31	3,03
	0,00	298,82	0,00
280	200,00	301,68	0,96
	300,00	306,93	2,71
	400,00	307,93	3,05

En la Figura 1 se muestra la variación en la resistencia a la compresión del concreto según la cantidad de fibra adicionada por m^3 de concreto en donde se muestra que la cantidad óptima de fibra es de $400 g \cdot m^3$ aumenta la resistencia en un promedio de 3,02 % para los concretos de resistencia a la compresión de 175, 210 y 280 $kg \cdot cm^2$.

Esto demuestra que, si bien hay un efecto en el aumento de la resistencia a la flexo-tracción conforme al porcentaje de polipropileno, esta variación va disminuyendo en la resistencia para las amasadas en CEM I/52,5 y varía el incremento para la amasada de CEMII/B 42,5.

Al analizar el ensayo de compresión, en el caso de la amasada con CEM II/B-V 42,5 demuestra que conforme va aumentando la cantidad de fibra adicionada, aumenta la resistencia a la compresión. Sin embargo, en la amasa con CEM I/52,5 R nos indica que con la adición de fibra se obtiene una caída de resistencia inicial y conforme se va agregando cantidades de fibra mayor se logra un incremento en la resistencia. Se va aumentando el porcentaje de fibra de polipropileno, esta variación es considerable disminuyendo para las amasadas CEM II/B-V 42,5.

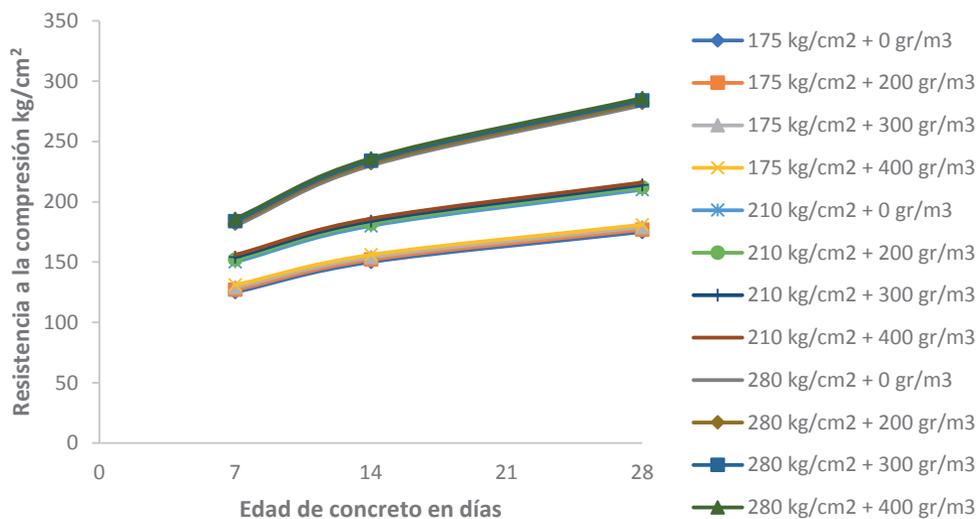


Figura 1. Resistencia a la compresión del concreto según el incremento en $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de fibra de polipropileno. Método de curado en cámara húmeda (Armas, 2016).

Por otro lado, si bien hay un efecto en el aumento de la resistencia a la compresión conforme

El análisis de la resistencia a la compresión de todas las fibras demuestra que en el caso de la fibra de acero demuestran que el concreto presenta un excelente comportamiento a la compresión en un promedio de 28 días, mientras que con el uso de $50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ con fibras de acero, la resistencia a la compresión pasa el 2% respecto a la resistencia con una dosificación de $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Considerando al hormigón como el material más utilizado en la construcción, es necesario conocer el comportamiento del concreto en eventos extraordinarios como por ejemplo en el caso de un incendio y dependiendo del sistema estructural, el daño que se produce puede ser parcial o en la totalidad de la estructura (Muriel, 2018).

Para el caso de las fibras de polipropileno, para Días *et al.* (2020), la resistencia de las probetas después de estar expuestas a una temperatura de $200 \text{ }^\circ\text{C}$ en el momento del horneado, el concreto patrón presentó una resistencia de $24,6 + 0,9 \text{ MPa}$ con un aumento de $0,5 + 0,9 \text{ MPa}$ de resistencia a la compresión, de igual modo Xargay *et al.* (2018) realizan la comparación entre hormigón simple y hormigón reforzado con fibra, expuestos ambos a una temperatura de $600 \text{ }^\circ\text{C}$ en la que se determinó que ambos disminuyeron en 75% su resistencia a la compresión relativa, pero un gran incremento en su resistencia residual a la tracción por compresión diametral y en su resistencia a la flexión.

Además, Pina & Sémelas (2011) sostienen que las fibras sintéticas no sufren oxidación, químicamente son más estables frente a cualquier tipo de

ataques, garantizando así la conservación de las propiedades del hormigón con respecto a su vida útil.

En las fibras de vidrio, uno de los autores observó que con una dosificación de $6,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ de fibras de vidrio en el concreto, la resistencia a la compresión aumentó en 28 días a 1,3% respecto a la mezcla en comparación con la dosificación de $13 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Esto demuestra la disminución en la densidad del concreto a medida que aumenta su porcentaje. Corroborando con lo que evidencia Coronado & Zevallos (2020) al analizar la resistencia del concreto con diferentes dosificaciones de fibra de vidrio, llegando a la conclusión que, a mayor porcentaje de fibra, la resistencia disminuye, iniciando con una dosificación de 0,025% de fibra obteniendo una resistencia de 6,65% y culminando con una dosificación de 0,125% obteniendo una resistencia de 1,26% de resistencia del concreto.

Para las fibras de cabello, demuestra que la resistencia a la compresión mejoró en un 8,1% al 1% de fibras de cabello, pero la resistencia a la compresión sufría una baja al aumentar el contenido de fibra capilar. En las fibras de carbono, González *et al.* (2017), las dosis óptimas de 10mm de largo al ser incorporada al concreto de 0,24% aumenta un 17,7% la resistencia a la compresión. Los resultados de fibra de basalto, demuestran que lo que dio mejor resultado fue la dispersión de haz, con una dosificación de 0,31 aumentando la resistencia a la compresión en un 4,5%

De acuerdo a los resultados encontrados, se observó que los agregados

a las fibras de polipropileno representan un referente a las propiedades del hormigón según al porcentaje de fibra utilizado. Briones *et al.* (2020) afirmaron que su aporte sería favorable por sus características de peso liviano, las propiedades químicas en relación a la resistencia química que posee frente a solventes más utilizados en la obra.

Además, el uso de estas fibras de polipropileno como elemento constituyente del hormigón no es tan beneficioso como se esperaba, lo cual fue comprobado en un análisis de ensayo. Sin embargo, para Cifuentes (2010) y Días *et al.* (2020), en sus estudios determinaron la eficacia de este componente y su resistencia, por su comportamiento en las altas prestaciones. Esta diferencia se basa principalmente por su óptima estabilidad en las temperaturas más altas.

Con respecto a la comparación entre la fibra de polipropileno y la fibra de acero, se encontró favorable emplear la fibra de polipropileno consideraría mejores resultados por sus cualidades al momento de realizar una obra. Lo cual guarda concordancia con lo estudiado por Da Silva *et al.* (2019), quien demostró que una de las composiciones más utilizadas es un enlace de polipropileno con fibras, lo que da como resultado la formación de un nuevo material, con características diferentes a sus constituyentes. La resistencia a la tracción aumenta con el aumento de la cantidad de carga de fibra. Estirando por otro lado, tracción, disminuye.

Se concluye que a medida que se va agregando fibras de polipropileno,

se van presentando un conjunto de resultados referentes a las propiedades del hormigón, una de ellas es la reducción de la trabajabilidad. Conforme lo indican Altalabani *et al.* (2020), se va aumentando el porcentaje de fibra de polipropileno al hormigón y la trabajabilidad en la mezcla disminuye. Así como también lo constatan Sarikaya & Susurluk (2019) y Prakash *et al.* (2020), en el que deducen que el uso de fibra de polipropileno en hormigón fluido provoca disminución en el asentamiento teniendo en cuenta que esta es una característica importante del concreto fresco aun considerando un efecto negativo en la trabajabilidad.

Con respecto a los usos de fibras de polipropileno como parte del hormigón, nos demuestra el comportamiento desfavorable del uso de fibras de polipropileno como elemento integrado al hormigón, siendo corroborada a través del análisis de ensayos en la que mayor pérdida se adquiere en la disminución de la resistencia al flexo-tracción de los hormigones.

Asimismo, demuestra que en el hormigón reforzado con fibras de polipropileno no mejora ningún aspecto con relación a su capacidad mecánica del hormigón. Sin embargo, en la rotura de probetas en el ensayo a flexo-tracción la rotura es menos frágil en las que contienen fibras de polipropileno, logrando al hormigón obtenga mayor ductilidad.

Para Ortega & Gil (2019), al usar fibras de Delaware aserrín, las muestras obtenidas con este tipo de fibras presenta menos resistencia a la compresión a medida que se aumenta su

dosificación en la mezcla pero indica que aún después de haber fallado, logran mantener su núcleo intacto, esto nos indica que tienen un mejor comportamiento post falla gracias a la morfología fibrosa del aserrín, por el contrario Pourali *et al.* (2019), concluye que el uso de fibras de polipropileno logran proporcionar una mayor resistencia a la tracción en comparación con la resistencia a la compresión en la que el aumento es relativamente pequeño.

Chavarry *et al.* (2020), analizó aparte de la fibra de polipropileno a la fibra de vidrio y de acero, logrando resultados mucho más favorables con la fibra de vidrio, superior a la fibra de polipropileno, con un sinfín de atributos en el hormigón considerándose inclusive poseer influencia en el aumento de la resistencia a la flexo-tracción en el hormigón.

A su vez, según Gómez *et al.* (2020), debemos tener en cuenta que el uso de fibras en la producción de hormigón proporciona ciertas características en la construcción como aislación de vibraciones y sonido.

En el caso de la fibra de acero posee cualidades similares a la fibra de polipropileno, sin embargo, cuenta con características que marcan la diferencia como el peso y la dificultad de la puesta en obra. Demostrando que la fibra de polipropileno es superior en comparación con la fibra de acero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, B. & Qureshi, L. 2018. Combined effect of fly ash and glass fibers on mechanical performance of concrete. *Ned university journal of research - Structural Mechanics*, 15: 91-100.
- Altalabani, D.; Linsel, S. & Bzeni, D. 2020. Rheological properties and strenght of polypropylene fiber-reinforced self-compacting lightweight concrete prouce with ground limestone. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45: 71-85.
- Armas, C. 2016. Efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico. *Revista científica. Ingeniería: Ciencia, tecnología e innovación*, 3: 79-91.
- Arráez, F.; Ávila, M.; Arnal, M. & Muller, A. 2018. Estudio del efecto de aditivos pro-oxidantes “oxo” en el proceso abiótico de oxodegradación de películas de polipropileno y poliestireno de alto impacto. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 38: 31-42.
- Branston, J.; Das, S.; Kenno, S. & Taylor, C. 2016. Mechanical behaviour of basalt fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 124: 878-886.
- Briones, A.; Zambrano, J.; Muñoz, J.; Ruiz, W. & Panchana, R. 2020. Análisis de la prestación mecánica el hormigón empleando virutas de acero como agregado fino. *Revista de investigaciones en energía, medio ambiente y tecnología*, 5: 15-22.
- Carrillo, J.; Cárdenas, J. & Aperador, W. 2017. Propiedades mecánicas a flexión del concreto reforzado con fibras de acero bajo ambientes corrosivos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32: 59-72.
- Carrillo, J. & Páramo, S. 2016. Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 7: 317-330.
- Chavarry, C.; Chavarría, L.; Valencia, A.; Pereyra, E.; Arieta, J. & Rengifo, C. 2020. Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 4: 31-41.
- Cifuentes, H. 2010. *Análisis del comportamiento en fractura y del efecto de borde en hormigones de altas prestaciones reforzados con fibras de polipropileno*. (Tesis). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Cifuentes, H.; Ríos, J. & Martínez, A. 2020. *Estudio del comportamiento de hormigones de muy alta resistencia sometidos a cargas de choque térmico*. Hormigón y Acero, <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2284>.
- Coronado, J. & Zevallos, J. 2020. *Efecto del costo y la resistencia en el diseño del concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la introducción de fibra de vidrio en la ciudad de Tarapoto*. (Tesis). Universidad Nacional de San Martín.

- CTE (Código Técnico de la Edificación). 2020. *Código Técnico de la Edificación*. <https://www.codigotecnico.org/>
- Da Silva, G.; Ximenes, G.; Nascimento, H. & Gongalvez, J. 2019. Study of replacement of nylon by polypropylene composite and glass fiber. *Matéria* (Rio de Janeiro), 24: 1-8.
- Deb, S.; Mitra, N.; Maitra, S. & Basu, S. 2020. Comparison of mechanical performance and life cycle cost of natural and synthetic fiber-reinforced cementitious composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32: 04020150.
- Días, D.; Calmon, J. & Vieira, G. 2020. Hormigón reforzado con fibras poliméricas expuesto al fuego. *Revista Alconpat*, 10: 36-52.
- Flor, G.; Yáñez, A.; Robalino, D.; López, C.; Cabrera, F. & Arroyo, J. 2019. *Determinación de cantidad óptima de fibra de acero para la elaboración de hormigón de cemento portland para losas de pavimentos rígidos*. 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, And Infrastructure for Sustainable Cities and Communities", 24-26 July 2019, Jamaica.
- García, A. & Hernández, W. 2017. *Estudio del efecto en las propiedades mecánicas del concreto simple reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP)*. Montería: Universidad de Córdoba.
- Gómez, S.; Ramón, B. & Santos, A. 2020. Caracterización dinámica vibratoria experimental de compuestos reforzados con fibra natural de fique. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28: 304-314.
- González, J.S.; López-Gayarre, F., López-Colina, P.C.; Serna-Ros, P. & Serrano-López, M.A. 2017. Influence of recycled brick aggregates on properties of structural concrete for manufacturing precast prestressed beams. *Construction and Building Materials*, 149: 507-514.
- Hatami, M.; Hosseini, M. & Mahdikhani, M. 2020. Effect of polypropylene fibers on the mode I, mode II, and mixed -mode fracture toughness and crack propagation in fiber-reinforced concrete. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater Sci Ed*, 34: 1327-1344.
- Huang, J.; Zhang, Y.; Tian, Y.; Xiao, H.; Shi, J.; Shen, J. & Zhang, N. 2020. Research on the dynamic mechanical properties and constitutive models of steel fiber reinforced concrete and polypropylene fiber reinforced concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2020: 9174692.
- Kizilkanat, A. 2016, Experimental evaluation of mechanical properties and fracture behavior of carbon fiber reinforced high strength concrete. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60: 289-296.
- Lei, B.; Li, W. & Liu, H. 2020. Synergistic effects of polypropylene and glass fiber on mechanical properties and durability of recycled aggregate concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 14: 37.
- Li, F.; Chen, G.; Xu, G. & Wu, Y. 2020. An experimental study on the compressive dynamic performance of polypropylene fiber reinforced concrete for Re-

- taining Structure under Automobile Collision Magnitude. *Advances in Civil Engineering*, 2020: 8826006.
- Liang, Y.; Cheng, Y.; Fu, H.; Li, X. & Chen, Y. 2020. Research into the mechanical properties of wet-sprayed polypropylene fibre-reinforced concrete. *Magazine of Concrete research*, 72: 948-962.
- Lu, C. 2013. Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete pavement. *Advanced Materials Research*, 739: 264-267.
- Martín, A. 2020. *Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón*. (Trabajo Final de Grado). Valencia: Universitat politècnica de Valencia.
- Mendoza, C.; Aire, C. & Dávila, P. 2011. Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 2: 35-47.
- Meza de Luna, A.; Ortiz, J.; Peralta, L.; Pacheco, J.; Soto, B.; Rangel, S.; Padilla-Ceniceros, R. & Alvarado, J. 2014. Experimental mechanical characterization of steel and polypropylene fiber reinforced concrete. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 37: 106-115.
- Muñoz, S.; Sandoval, F.; Martínez, E. & Pazos, J. 2021. Revisión de la resistencia a la compresión del concreto incorporando variedades de adiciones de fibras. *Revista Cubana de Ingeniería*, 12: 89-102.
- Muriel, A. 2018. *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión y rigidez de un hormigón ordinario en relación a uno reforzado con fibras de polipropileno expuesto a temperaturas altas*. (Tesis). Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Nascentes, A.; De Castro, L. & Bernardes, E. 2019. Study of concrete properties with vegetal and polypropylene fibers for use in structural walls. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24: 1-15.
- Ortega, A. & Gil, H. 2019. Estudio del comportamiento mecánico de morteros modificados con fibras de aserrín bajo esfuerzos de compresión. *Ingeniería y desarrollo*, 37: 20-35.
- Otunyo, A. & Odebiyi, A. 2018. Regression modeling of the strength properties of concrete reinforced with polypropylene fiber and alkali resistant glass fibre. *Nigerian journal of technology*, 37: 898-906.
- Pina, E. & Sémelas, G. 2011. Empleo y aplicaciones de hormigones reforzados con fibras sintéticas estructurales. *Anales de mecánica y electricidad*, 88: 17-20.
- Pourali, H. Azizi, S. & Esfahani, M. 2019. Effect of heat and impact on self-compacting concrete containing polypropylene fibers. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 13: 85-96.
- Prakash, R.; Thenmozhi, R.; Raman, S. & Subramanian, C. 2020. Fibre reinforced concrete containing waste coconut shell aggregate, fly ash and polypropylene fibre. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 94: 33-42.
- Santos, F.; Taguba, M.; Alzona, A.; Basada, R.; Elbit, J.; Nones, G.; Olido, K. & Ramos, E. 2020. Optimization of the compressive strength of hair fiber

- reinforced concrete using central composite design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 771: 012059.
- Sarikaya, H. & Susurluk, G. 2019. Effect of polpropyllene fiber additin on thermal and mechanical properties of concrete. *Engineering structures & materials*, 5: 1-12.
- Shen, D.; Liu, X.; Zeng, X.; Zhao, X. & Jiang, G. 2020. Effect of polypropylene plastic fibers length on cracking resistance of high performance concrete at early age. *Construction and Building Materials*, 244: 117874.
- Smarzewski, P. 2018. Flexural toughness of high-performance concrete with basalt and polypropylene short fibres. *Advances in Civil Engineering*, 2018: 5024353.
- Subandi, S.; Yatnikasari, S.; Damaiyanti, M.; Azzahra, R. & Vebrian, Y. 2019. Effect of additional fiberglass fiber on concrete performance. *International information and Engineering Tecnology association*, 43: 287-292.
- Vairagade, V. & Kene, K. 2013. Strength of normal concrete using metallic and synthetic fibers. *Procedia Engineering*, 13: 132-140.
- Wang, C.; Guo, Z. & Niu, D. 2020. Influence of the fiber volume content on the durability-related properties of polypropylene-fiber-reinforced concrete. *Sustainability*, 12: 549.
- Xargay, H.; Folino, P.; Nuñez, N. & Gómez, M. 2018. Monitoreo mediante emisión acústica de vigas de hormigón de alta resistencia con y sin fibras expuesto a alta temperatura. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23: 1-13.
- Yan, P.; Chen, B.; Afgan, S.; Haque, M.; Wu, M. & Han, J. 2021. Experimental research on ductility enhancement of ultra-high performance concrete incorporation with basalt fibre, polypropylene fibre and glass fibre. *Construction and Building Materials*, 279: 122489.
- Yang, X.; Liang, N.; Liu, X. & Zhong, Z. 2019. An improved constitutive statistical damage model of a multisize polypropylene-fiber-reinforced concrete under compression. *Mechanics of Composite Materials* 55: 385–392.
- Zerbino, R. 2020. El hormigón reforzado con fibras y sus proyecciones dentro de la industria de la construcción. *Revista de Ingeniería*, 153: 14-18.
- Zhou, L.; Wang, X.C. & Liu, H.T. 2013. Experimental study of mechanical behavior and failure mode of carbon fiber reinforced concrete. *Gongcheng Lixue/Engineering Mechanics*, 30: 226-231.
- Zycinski, W.; Malek, M.; Jackowski, M.; Lasica, W. & Owczarek, M. 2020. Study of the workability and mechanical properties of concrete with added ground corncobs. *Materials and technology*, 54: 479–483.

Received March 8, 2021

Accepted May 28, 2021.