

## ADICIONES DE FIBRAS DE ACERO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO: UNA REVISIÓN LITERARIA

### STEEL FIBER ADDITIONS TO IMPROVE THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE: A LITERARY REVIEW

Amilkar Smith Segundo Rojas Arce<sup>1</sup>

Lucia Rocío Gómez Catpo<sup>2</sup>

María Del Carmen Farroñan Santamaría<sup>3</sup>

Nathaly Geraldine Chuzón Calvay<sup>4</sup>

Sócrates Pedro Muñoz Pérez<sup>5</sup>



Fecha de recepción: 15/04/2021

Fecha de aprobación: 30/06/2021

DOI: <https://doi.org/10.26495/re.v5i1.1838>

#### RESUMEN

*El propósito de este artículo es mostrar y discutir la incidencia de la adición de fibras de acero sobre las propiedades mecánicas del concreto, para ello se efectuó la revisión sistemática de 50 artículos publicados e indexados en bases de datos que se distribuyen en 12 artículos de Scopus, 6 de Ebsco, 6 de ProQuest, 11 de ScienceDirect, 13 de Scielo y 03 de Redalyc, referente al concreto con fibras de acero, y como estas mejoran las propiedades mecánicas del concreto, como criterio de inclusión se consideraron artículos publicados entre los años 2010 al 2021. En los resultados se presenta los cambios en la trabajabilidad, resistencia a la compresión, flexión, tracción, corte, torsión, a altas temperaturas y la resistencia al agrietamiento. Se concluye que el cambio de las propiedades mecánicas dependerá de los porcentajes de adición y la forma de la fibra siendo la fibra corrugada con la que se tienen mejores efectos de reforzamiento, disminuyendo la trabajabilidad de las mezclas, con respecto a la mejora de la compresión se encontraron resultados contradictorios de los investigadores pero prevalece la mejora de esta propiedad, la resistencia a la flexión, tracción y corte mejoran y el agrietamiento disminuye debido al efecto de enganche de las fibras.*

**Palabras clave:** Adiciones de fibras de acero, Propiedades mecánicas del concreto, Propiedades físicas del concreto.

#### ABSTRACT

*The purpose of this article is to show and discuss the incidence of the addition of steel fibers on the mechanical properties of concrete, for this, a systematic review of 50 articles published and indexed in databases that are distributed in 12 articles of Scopus was carried out. , 6 from Ebsco, 6 from ProQuest, 11 from ScienceDirect, 13 from Scielo and 03 from Redalyc, referring to concrete with steel fibers, and how these improve the mechanical properties of concrete, as inclusion criteria articles published between the years were considered 2010 to 2021. The results show the changes in workability, resistance to compression, bending, traction, shear, torsion, at high temperatures and resistance to cracking. It is concluded that the change in mechanical properties will depend on the percentages of addition and the shape of the fiber, being the corrugated fiber with which there are better reinforcing effects, reducing the workability of the mixtures, with respect to the improvement of compression. Contradictory results of the researchers were found but the improvement of this property prevails, the resistance to bending, traction and shear improve and the cracking decreases due to the hooking effect of the fibers.*

<sup>1</sup> Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, [ranceamilkarseg@crece.uss.edu.pe](mailto:ranceamilkarseg@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0001-5423-5145>

<sup>2</sup> Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, [gcatpoluciaroci@crece.uss.edu.pe](mailto:gcatpoluciaroci@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0001-9716-4025>

<sup>3</sup> Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, [carmenmariasant@crece.uss.edu.pe](mailto:carmenmariasant@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0002-0593-8706>

<sup>4</sup> Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, [ccalvaynathalyg@crece.uss.edu.pe](mailto:ccalvaynathalyg@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0002-4155-5761>

<sup>5</sup> Maestro en ciencias de la Tierra con mención en Geotécnia, Universidad Señor de Sipán, Perú, [msocrates@crece.uss.edu.pe](mailto:msocrates@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. Rev. Epistemia, 5(1).

**Keywords:** *Steel fiber additions, mechanical properties of concrete, physical properties of concrete.*

## 1. Introducción

La industria de la construcción enfrenta el desafío de hacer sus procesos cada vez más sostenibles, porque las construcciones estructurales que se fabrican de la misma manera que las materias primas del concreto como el cemento, el acero corrugado y los agregados tienen un enorme impacto negativo en el medio ambiente con emisión de gas y saqueo excesivo de materias primas. En ese sentido nace la iniciativa del uso de fibras de acero recicladas como materia prima secundaria que contrarresta las solicitaciones anteriores para lograr la sostenibilidad en la industria de la construcción (Xargay , Ripani, Caggiano, Folino, & Martinelli, 2019). Actualmente se utilizan diferentes tipos de materiales, que se pueden añadir a las mezclas de concreto para mejorar su rendimiento, por lo que se utilizan aditivos y fibras con diferentes composiciones, así como fibras de acero, carbón, polipropileno, entre otros. De esta manera, las fibras son empleadas como refuerzo en el concreto con la finalidad de mejorar su resistencia. Ya que, se ha venido realizando investigaciones sobre el comportamiento de los morteros agregándolo a la mezcla de diferentes tipos de materiales, tales como las fibras de acero, analizándose la influencia de la presencia a la compresión de bloques de arcilla recubiertos con mortero tradicional y con morteros con fibra; la selección de estos bloques se basa en el hecho de que son los materiales más utilizados para paredes de mampostería en la construcción de viviendas. (Seco, Muñoz , Martinez , & Lugo, S, 2015). Desde la década de 1920, Europa y América han llevado a cabo una gran cantidad de estudios experimentales sobre concreto reforzado con fibra de acero (CRFA) y se han publicado resultados de investigación, patentes y técnicas relevantes. Hoy en día, agregar fibra de acero (FA) al concreto puede mejorar muchas propiedades, como la resistencia a la flexión, la resistencia a la tracción, la resistencia al impacto y la tenacidad, e incluso ayudar a mejorar la resistencia al agrietamiento. (Zhou, 2021). El CRFA es la que presenta mayor resistencia a la compresión a diferencia de los demás refuerzos como la fibra de coco y polipropileno, consiguiendo un aumento de 35.80 a 39.18 MPa en los primeros 30 días de curado y de 66.20 a 72.05 MPa a los 60 días de curado (Siva & Bhargav, 2018). El refuerzo de las fibras de acero aumenta la resistencia a la tracción, mientras más fibras se adicionen mejora su plasticidad por lo que el tipo de falla de los especímenes es dúctil (Jadidi, Amiri, & Zeighami, 2017). Cuando se agrega fibras metálicas llega a ser capaz de soportar esfuerzos, después de haber llegado a la matriz de concreto de falla lo cual genera que las fibras sigan estando unidas en la matriz de forma residual. Por lo tanto, hace que soporte los esfuerzos después de haber llegado a su resistencia máxima. Así mismo, estos comportamientos en las estructuras se vuelven muy deseados más en las zonas de riesgo de sismo (Ruiz, Ramirez, Logreira, & León, 2015). La adición de fibras de acero mejora las propiedades físicas y mecánicas del concreto, así como también contribuye en la preservación de la materia prima y evita la contaminación del medio ambiente, pudiendo ser utilizados estos concretos en pavimentos, losas deportivas, veredas, bordillos, barreras viales o muros de división. (Zamora, et al., 2021) O últimamente combinado con polipropileno es usado en revestimientos prefabricados de túneles o revestimientos de concreto proyectado (SUCHÁNEK & SLOVÁČEK , 2017). Por ello nos preguntamos, ¿Cuáles son las mejoras de las propiedades mecánicas del concreto en la adición de fibras de acero según los investigadores? La finalidad de este artículo es describir el efecto de la adición de fibras de acero sobre las propiedades mecánicas del concreto para ello se tuvo que identificar, analizar, describir y explicar las investigaciones recopiladas en las bases de datos. Con esto se logrará un aporte a la comunidad científica compilando las diferentes literaturas que presentan los materiales utilizados, los métodos de ensayo y sus resultados.

## 2. Material y métodos

Esta investigación es una revisión descriptiva de la literatura donde se presenta la mejora de las propiedades mecánicas del concreto en la adición de fibras de acero. Es de carácter explicativo, analítico y sintético donde se presenta la relación entre las variables como el porcentaje de volumen, relación de aspecto y forma que inciden en las propiedades.

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. Rev. Epistemia, 5(1).

La investigación de los artículos que se realizó en las bases de datos indexadas como Scopus, ScienceDirect, Ebsco, ProQuest, Redalyc y Scielo se utilizaron palabras claves de búsqueda como: fibras de acero, propiedades mecánicas, concreto; siendo estos publicados entre los años 2010 al 2021. Se obtuvieron 50 artículos que satisfacían los criterios de búsqueda. Estos artículos se ordenaron en una bitácora con los campos que identifican a cada uno para su análisis. En la tabla 1 se presenta la cantidad de artículos consultados en las diferentes bases de datos de acuerdo al periodo de publicación.

**Tabla 1.**

*Detalle de artículos recopilados, según la base de datos y periodo de año de publicación.*

BASE DE DATOS	PERIODO DE AÑO DE PUBLICACIÓN			TOTAL
	2010-2013	2014- 2017	2018- 2021	
SCOPUS	0	3	7	10
EBSCO	0	0	6	6
PROQUEST	0	3	3	6
SCIENCE DIRECT	1	4	7	12
SCIELO	5	6	2	13
REDALYC	0	2	1	3
<b>TOTAL</b>	6	19	25	50

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3. Resultados y discusiones

#### **Asentamiento del concreto:**

Con los estudios se ha demostrado que la incorporación de fibras no siempre significan una ventaja debido a que la trabajabilidad del concreto se reduce (Afroughsabet, Biolzi, & Ozbakkaloglu, 2016). Sin embargo, esta pérdida está influenciada por diferentes parámetros entre los que se encuentran el contenido y el tipo de fibra (Guerini, Conforti, Plizzari, & Kawashima , 2018). Con el fin de determinar las propiedades mecánicas del concreto con adiciones de fibras de chatarra de la industria de producción de máquinas realizaron el diseño de mezcla de acuerdo al ACI 544.3R-93, así como ensayos de asentamiento, compresión y de tracción indirecta de acuerdo a las normas ACI 544.2R-89, con sus resultados concluyeron que la trabajabilidad de la mezcla disminuye mientras más FA se adicione (Werkina, 2021).

El asentamiento baja debido a que aumenta la dosificación de fibra así mismo el peso específico llega a tener una masa unitaria de 7% menos debido a la evaporización del agua de la mezcla y el aire aumenta en 1.07% del concreto simple (Carrillo & Alcocer, 2012). También, esta disminución del asentamiento se debe al efecto “enganche” de las fibras de acero que se hace más fuerte junto con la incorporación de las fibras (Carrillo J. , 2016). Por lo cual, es deducible que el tamaño de la fibra incidirá en la trabajabilidad de la mezcla siendo las fibras más largas de 60mm las que reducen entre el 15 a 20% en comparación con las fibras cortas de 35mm; para los porcentajes de adición del 0.5% y 1% la consistencia se reduce en 40% y 60% aproximadamente (Guerini, Conforti, Plizzari, & Kawashima , 2018).

Por lo tanto, la adición de micro y macro fibras de acero combinadas en una sola mezcla, la trabajabilidad del concreto fresco disminuye debido a que mejora la capacidad de tenacidad de este (Dhanapal & Jeyaprakash, 2020).

Al estudiar las variables de los tipos de fibras, es cuando se pueden estudiar las propiedades del concreto en el estado fresco y endurecido. Esta incorporación de fibras influye importantemente en la fluidez del concreto, mejorando la resistencia mecánica en relación con el hormigón autocompactante sin fibras. (Rodriguez, et al., 2018)

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. Rev. Epistemia, 5(1).

### **Resistencia a la compresión:**

Se realizó un análisis experimental para verificar la influencia conjunta de micro y macro fibras de acero en el estado endurecido y fresco del concreto, con respecto a la resistencia a la compresión del cubo se notó un aumento del 21% para adiciones del 25% de macrofibras (38mm de longitud y 0.5mm de diámetro) y 75% de microfibras (15mm de longitud y 0.3mm de diámetro) que representan un 1.5% del volumen de la mezcla (Dhanapal & Jeyaprakash, 2020). Asimismo, si se adiciona a los componentes convencionales del concreto, fibras de acero y bauxita, es decir, residuos de refinería como reemplazo del material aglomerante. A medida que aumenta el porcentaje de adición de los dos componentes, se encuentra que se aumentó la resistencia a la compresión (Arun, Sudharsan, & Suresh Kumar, 2020).

Por otro lado, en el comportamiento en compresión del ensayo del módulo de elasticidad y relación de Poisson del CRFA llegan a medir la intensidad de mezclado que tienen las fibras donde en los 7 días va a ver un aumento en la resistencia del concreto simple y conforme pasan los días presenta un pequeño aumento donde alcanza su resistencia de 28.6 MPa y en sus 32 días represento un porcentaje de 14.4% de lo que es un concreto nominal. (Gallo Arciniegas, Gonzales, & Carrillo, 2013). Sin embargo, se determinó el módulo de elasticidad y la relación de Poisson con fibras de acero por lo que se realizaron cilindros que fueron sometidos a cargas a compresión donde se obtuvo que las fibras pueden llegar a controlar y propagarse mediante las microfisuras que pueden producirse debido a las fuerzas de tensión transversal. De tal manera, que genere un aumento a la resistencia a la compresión y la capacidad de deformaciones en compresión y por ende con las fibras de acero va a aumentar la porosidad y hará que disminuya la resistencia a la compresión (Carrillo, Cárdenas, & Aperador, 2015).

Asimismo, en el afán de investigar el comportamiento del CRFA, no solo existe opción de manipular la variable del contenido de la fibra sino más bien como investigaron el comportamiento del concreto variando el método tradicional de mezclado por un mezclado vibratorio con el fin de distribuir las fibras de manera uniforme. Sus resultados fueron que las propiedades mecánicas de compresión mejoraron en un 10% con la variación de los porcentajes de adición 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2%. (Zheng, et al., 2018). Además, para una adición de 0.75% se obtiene un aumento máximo de 30.7% de resistencia a la compresión a diferencia de los otros porcentajes de volumen y que el aumentar la cantidad de fibra a la mezcla no necesariamente significa un aumento de la resistencia (Werkina, 2021).

Existen varias formas de fibras y porcentajes que se agregan al concreto para mejorar su desempeño en sus propiedades y en vista de ello existen investigaciones sobre la forma y porcentaje ideal de adición para mejorar ciertas propiedades del concreto, con el fin de optimizar su uso y minimizar costos en la producción de CRFA. De tal manera, que la resistencia a compresión a temperaturas elevadas hacen que el coeficiente de variación estén entre 0.3% hasta 12.3% con fibras de acero y las temperaturas de 200 y 400 °C hacen que disminuya la resistencia a compresión axial residual por lo tanto, a una temperatura de 600 y 800 °C hacen que generen grietas irregulares en el concreto simple (Wang, et al., 2020).

Se puede deducir que cuando se fija el contenido de FA y la fibra de forma corrugada se tiene el mejor efecto reforzado sobre la resistencia a la compresión. Asimismo, las fibras con ganchos en los extremos ocupa el segundo lugar, fibras de forma recta es el menor y la relación de volumen de fibra es 1,5% donde la resistencia a la compresión expresa una tendencia de aumento lineal con los aumentos de 0 a 2% (Zhang, Zhao, Fan, & Wang, 2020). Además, otro aspecto muy importante es la relación de la longitud y el diámetro de las fibras de acero, mostrando como resultados que el uso de fibras de acero en forma de gancho con una relación de aspecto de 80 tiene mejores propiedades mecánicas en términos de compresión que las fibras de acero en forma de gancho con una relación de aspecto de 65 debido a que se reduce el volumen de inserción (Jun-Mo, Doo Yeol, You Chan, & Young Soo, 2017).

El concreto trabaja mejor cuando hay presencia de FA, se obtiene la máxima resistencia a la compresión sobre un hormigón estándar, esto permite una buena adherencia de los materiales.

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. Rev. Epistemia, 5(1).

(Farfan, Pinedo, Araujo, & Orbeago, 2019). Para evaluar la respuesta a los sismos, este concreto reforzado se expuso a una mesa vibradora para ocasionarle daños severos en muros de baja altura, esto concluye que si pueden ser rehabilitados utilizando nuevas técnicas constructivas, por lo que se logra recuperarlos a la resistencia a la compresión con la aplicación de la resina epóxica. (Ávila, Carrillo, & Alcocer, 2011). El concreto también eleva sus niveles de resistencia, a los esfuerzos de compresión y flexión, debido a que en los cálculos realizados a la tenacidad y resistencia residual se logra el cumplimiento según lo indicado en las normas (Christ, et al., 2019).

#### **Resistencia a la flexión:**

Carrillo y Díaz con el ensayo de 15 placas evaluó la propiedad de flexión del concreto con adiciones de fibras de acero industrial y fibras de acero reciclado de neumáticos. Debido al proceso de extracción de las fibras de los neumáticos, estas eran de geometría irregular y variable, además no presentaban ganchos como las fibras industriales que mejora la adherencia al concreto. De este modo los resultados con respecto a la flexión de las losas mejoró presentando deflexiones de hasta 43 y 30 mm para adiciones de 65.2 kg/m<sup>3</sup> de fibra industrial y reciclada respectivamente (Carrillo & Díaz, 2020). Las dosificaciones generalmente representa el volumen o masa de fibra que son usadas por unidad de volumen y se usan de forma adimensional por ende las propiedades de flexión del CRFA llegan a ser sometidos a bajas temperaturas de la cual disminuirá la tenacidad del CRFA y aumenta mediante carga a flexión (Silva, Carrillo, & Sánchez, 2016).

La evaluación del efecto de las fibras de acero fresadas (MCSF) en volúmenes de mezcla de 0.25, 0.5 y 1% con componentes convencionales del concreto, cenizas volantes y aditivo superplastificante reductor de agua; arroja resultados con respecto a la resistencia a la tracción por flexión un aumento máximo del 40% (5.6 ±0.6 MPa.) para una adición del 1% de MCSF (Karahan, Ozbay, Atis, Lachemi, & Hossain, 2016).

Cuando la proporción de FA está entre 1 y 3% y el espesor de la cubierta de concreto está entre 20 y 60 mm, el aumento del espesor de la cubierta del concreto o la proporción de FA mejorará la resistencia al agrietamiento de la cubierta de hormigón. Esto ayudará a la redistribución plástica de la tensión de unión a lo largo de la interfaz y disminuirá la diferencia de carga entre dos extremos (Kai, Shiqi, Chao, Chuyang, & Feng, 2021).

En el comportamiento a flexión bajo cargas cuasiestáticas y de impacto, fue evaluado con una serie de vigas de CRFA con tres resistencias a la compresión  $f'_c$  de 49, 90 y 180 MPa y además cuatro contenidos de volumen de fibra diferentes de 0, 0.5, 1.0 y 2.0% que fueron fabricados y probados. Asimismo, para las cargas cuasiestáticas, mejoras en la resistencia a la flexión y la capacidad de deflexión se obtuvieron aumentando el contenido; observándose una mayor tenacidad con un aumento en el contenido de fibra, conduciendo a una mejora en el rendimiento de flexión residual después del daño por impacto (Doo Yeol, Young Soo, & Nemkumar, 2015).

El CRFA cuando es sometido a ambientes corrosivos como en los iones cloruro que está presente en un medio salino (NaCl al 3.5%) se aumenta la capacidad de deflexión de CRFA, lo que puede mejorar su ductilidad y adhesión entre la matriz y la FA embebidas. (Carrillo, Cárdenas, & Aperador, 2017).

Cuando el concreto es expuesto a metodologías combinadas de densificación, proporciona una superficie lisa en su apariencia, reduciendo los vacíos de aire atrapado. Por lo que al producirse un ablandamiento es producto del deslizamiento y al igual que el endurecimiento (Barbosa de Oliveira, Souza, Roman, & Leal, 2020).

#### **Resistencia a la tracción dividida:**

Con la combinación del 75% de fibras largas y el 25% de fibras cortas que representan en total el 1.5% se obtiene un aumento del 45% de la resistencia a la tracción dividida, cabe señalar que si se utiliza el 100% de solo fibras largas la tensión tractiva disminuye debido a que no se

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. Rev. Epistemia, 5(1).

produce un mezclado uniforme (Dhanapal & Jeyaprakash, 2020). Si bien es cierto la tracción dividida mejora con los diferentes contenidos de fibra y método de mezclado tradicional, esta propiedad se puede mejorar aún más con un mezclado vibratorio (Zheng, et al., 2018). De tal manera, si se experimenta con cantidades de FA de extremo en forma de gancho de 0,75 mm de diámetro y 60 mm de longitud, preparada para 0.21 m<sup>3</sup> en porcentajes de adición de 0%, 0.5%, 1% y 1.5%. Se logra que la resistencia biaxial aumente de 15 a 45% bajo tensión-compresión biaxial; la resistencia a la tracción biaxial no aumenta significativamente, pero con el aumento del porcentaje de adición del 1.5% aumenta la capacidad de deformación por tracción 3.5 veces más (Chiew, et al., 2020).

Sin embargo, si aplicamos los ensayos de acuerdo a la norma ASTM C496, se aprecia que para contenido de fibras bajo de 0.3, 0.5 y 0.7% se visualiza un aumento proporcional de la resistencia de tracción dividida con un aumento máximo del 40% para la incorporación más alta; gracias a la integración de volúmenes bajos donde se notó que las caras de los testigos permanecían unidas después de la ruptura por lo que el tipo de falla fue dúctil (Robayo, Matthey, & Delvasto, 2013).

En los ensayos del concreto reforzado con cenizas volantes, humo de sílice, fibras de acero manufacturadas y fibras de cero recicladas de neumáticos, en los primeros días de curado la resistencia a la tracción dividida tiene poco aumento, pero se torna significativa a partir de los 28, 60 y 90 días de curado (Simalti & Singh, 2020). También las MCSF permiten un aumento máximo de 60% (4.5 ±0.3 MPa.) de la resistencia a la tracción de división (Karahan, Ozbay, Atis, Lachemi, & Hossain, 2016)

Al realizar un estudio experimental sobre la resistencia a la compresión del hormigón expuesto al diámetro de la fibra de acero (ZP-306), estas se caracterizan por presentar propiedades de esbeltez, resistencia a la tensión del acero. Por lo que su deformación unitaria asociada, permanece casi constante para el CS y el CRFA (Carrillo, Barrera, & Acosta, 2014).

#### **Resistencia al corte:**

Según San Bartolomé y Rafael, describen la conducta de la fuerza cortante de muros delgados de concreto reforzado en zona central con barras de acero, fibras de polipropileno y con fibras de acero, donde en estudio se llegó a ver que los muros con fibra llegan a tener una rigidez lateral del 10% más que un muro reforzado con malla de acero convencional dúctil lo cual hace que disminuya la densidad del concreto a pesar que se observó que las resistencias de las probetas no cambiaron (San Bartolome & Rafael, 2013).

Asimismo, en las investigaciones experimentales y numéricas de correas de las vigas de extremos dapped de CRFA se trató de utilizar para mejorar la capacidad de corte puesto que se observan daños por cortante bajo el efecto de cargas verticales. Por ello, se realizó estos estudios ya que la presencia de FA y la relación de aspecto se seleccionan como parámetros principales. Sin embargo, se pueden mejorar las capacidades de carga de las correas prefabricadas con la región del extremo adelgazada con las fibras de acero (Yasin Onuralp , Ceyhun , & Musa Hakan , 2021). Por otro lado, se realizó otro estudio experimental para evaluar el comportamiento a cortante de vigas con diferentes efectos de refuerzo donde se propone la capacidad de corte de vigas de hormigón ecológico de alta resistencia reforzadas con fibras de acero al 0,75% (en volumen), que adoptan la forma de ganchos o estribos de corte con diferentes espaciamientos donde se probaron cinco grandes vigas con fibras , concluyeron que se puede utilizar 0,75% en volumen como método alternativo para el refuerzo de cortante mínimo (Tian Feng , Doo Yeol , Jun Mo , & Young Soo , 2020).

A pesar de la conducta estructural del CRFA ha sido ampliamente investigado, las aplicaciones estructurales siguen siendo limitadas y una barrera para su implementación es la falta de modelos mecánicos que describan el comportamiento de los miembros del CRFA que fallan en corte (Eva O.L. , 2019).

Por lo tanto, a lo largo de los años, se ha venido realizando múltiples investigaciones y ensayos sobre el comportamiento del CRFA, esto ha permitido que el concreto mejore su absorción de energía y resistencia residual. Según la norma europea EN 14487-1, se mencionan diferentes

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. Rev. Epistemia, 5(1).  
métodos para especificar la ductilidad del concreto pulverizado reforzado con fibra (De Rivas, 2011).

En algunas investigaciones se toman la relación agua y cemento y además el efecto de la variación en la fracción del volumen de las fibras, en este se producen alta resistencia a los esfuerzos cortantes en la zona de claro o cortante a la tensión diagonal (Juarez, Mendoza-Rangel, Valdez-Tamez, Durán, & Gonzales, 2015).

#### **Resistencia a la torsión:**

El CRFA es capacitado para sustituir completamente el refuerzo mínimo requerido para resistir la torsión. Esto significa que la adición de fibras de acero ayuda a aumentar el par de resistencia máximo y la torsión máxima en comparación con la misma muestra sin fibras. Por lo tanto, el CRFA otorga una rigidez post-agrietamiento bastante alta y un desarrollo más constante del proceso de agrietamiento ( Facconi, Minelli, Ceresa , & Plizzari , 2021).

#### **Agrietamiento:**

Se evaluó experimentalmente la propagación de grietas y el comportamiento posterior a las grietas en vigas de CRFA Asimismo, el CRFA cargado en flexión la fisura superficial se va propagando rápidamente a través de la profundidad de la muestra para pequeñas aberturas y para el volumen de las fibras de acero hasta 0,75% donde la resistencia proporcionada durante la etapa de propagación de grietas es insuficiente para evitar un ablandamiento en flexión. Por lo tanto, el contenido de volumen de fibra es de gran importancia en la recuperación de carga en la respuesta de flexión lo que contribuye a aumentar la tenacidad (Gali & Subramaniam, 2017).  
En mezclas en estado endurecido conformados por cemento tipo III, arena, grava, aditivos y fibras, se aprecia que el crecimiento del contenido de FA se genera un efecto de enganche por lo que evita el agrietamiento e incrementa su vida útil (Carrillo J. , 2016).

#### **Resistencia a altas temperaturas:**

Cuando se evaluó el comportamiento a altas temperaturas, la tasa de fibra en particular al 1,0% disminuyó la pérdida de resistencia más que otras tasas. Por lo tanto, el efecto de la temperatura durante 6 horas y esta tasa de fibra sugerida para el diseño son importante ya que el período efectivo de calentamiento en las construcciones será menor; en el efecto de altas temperaturas se observaron cambios menores entre los valores de resistencia a la compresión a 1000 °C y después de 1000 °C. (Oğuz, Tefaruk, & Fatih, 2015)

Se investigó el comportamiento dinámico de falla de CRFA a temperatura ambiente y temperaturas elevadas utilizando el método de simulación donde se obtuvieron como resultados de la que para un contenido de fibra no superior al 2% en volumen, se puede ignorar el dominio de la FA en la conducción térmica del concreto (Renbo , Liu , & Xiuli , 2021).

#### **Incidencia en las propiedades de la adición de fibras de acero y otras innovaciones:**

El estudio sobre el comportamiento respecto de los muros de mampostería no reforzada con una abertura adaptada con superposiciones de CRFA en ambas caras, indicaron que al agregar el recubrimiento de CRFA a toda la superficie de las paredes con una abertura no solo condujo a una mejora significativa de la resistencia y rigidez en el plano de las paredes, sino también mejora su capacidad de deformación no lineal. Asimismo, las pruebas demostraron que el reacondicionamiento de los pilares de un muro con una abertura también puede mejorar considerablemente su comportamiento en el plano en términos de resistencia, rigidez y capacidad de deformación (Kamrava, Najafgholipour, Fathi, & Dehghan, 2021).

Para el estudio de las propiedades mecánicas del CRFA a alta temperatura y la alta tasa de deformación, se utilizó la barra de presión dividida Hopkinson (SHPB) con concreto a temperaturas de 20 °C, 200 °C y 400 °C. Demostrando que, la adición de fibras de acero puede mejorar significativamente la tenacidad y resistencia. Asimismo, se estableció la relación entre la resistencia máxima a la compresión y la fracción de volumen de fibra; velocidad de deformación y la temperatura, lo cual indica que es adecuada para temperaturas y deformaciones por debajo de 400 ° C y se muestra que el CR con FA tiene un efecto de endurecimiento de la velocidad de deformación ( Huang, Li, Meng, Jiang , & Li , 2020).

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. Rev. Epistemia, 5(1).

De acuerdo a la revisión de las investigaciones se encontró resultados adversos con respecto a la propiedad de compresión donde doce investigadores citados sostienen que la resistencia a la compresión mejora, mientras que tres autores concluyen que la incorporación de estas fibras disminuye la resistencia y un investigador comenta que las fibras no incide significativamente en esta propiedad. Debido al aumento de la dosificación de fibras de acero se presenta el aumento del contenido de aire en 1.07% lo que está estrechamente relacionado con la disminución de la resistencia a la compresión (Carrillo & Alcocer, 2012).

El aumento en el número de fibras de acero hará que la resistencia a la compresión disminuya a un valor constante ( $f_c / f_{co} = 0,87$ ) y aumentará la deformación por compresión. Se puede decir que cuando se utiliza FA bajo presión axial, su resistencia se reduce, pero su ductilidad es mayor. (Aperador, Carrión, & Gonzales, 2013). De igual manera para concretos armados con fibra de acero y polipropileno los resultados de la resistencia a la compresión tienden a disminuir debido a la adición de fibras de acero, además aumenta su porosidad (Meza de Luna, et al., 2014).

Para (Guerini, Conforti, Plizzari, & Kawashima, 2018) el contenido del 0.5% y el 1% no influye de manera significativa en la resistencia a la compresión, el cual coincide en el contenido de aire que tampoco se afectó por la incorporación de fibras.

#### 4. Conclusiones

Para determinar la forma y porcentaje ideal de adición que mejorar ciertas propiedades del concreto se debe fijar el contenido de FA y la fibra de forma corrugada ya que tienen el mejor efecto reforzado sobre la resistencia a la compresión, la resistencia a la rotura, la resistencia al corte y la resistencia a la flexión del con el fin de optimizar su uso y minimizar costos en la producción de CRFA.

Frente a la evidencia recopilada, se puede inferir que la trabajabilidad del hormigón disminuye con el aumento del contenido de fibra en el hormigón, y el peso específico en el estado endurecido no cambiará significativamente con el aumento del contenido de fibra, debido a la reducción de  $S_e$  equilibra el agregado grueso y se agrega FA.

En cuanto al comportamiento compresivo del hormigón con FA, se debe considerar que existen resultados opuestos en la investigación, pero la razón principal es que la adición de FA puede incrementar la resistencia a la compresión del hormigón hasta cierto porcentaje del volumen mezclado.

La resistencia a la flexión aumenta considerablemente debido a que al adicionar fibras de acero al concreto que tiene un comportamiento frágil puede mejorar su rendimiento afectando de manera positiva, especialmente al aumentar su ductilidad.

Obviamente, la adición de fibras de acero puede mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, así como también contribuye en la preservación de la materia prima y evita la contaminación del medio ambiente, pudiendo ser utilizados estos concretos en pavimentos, losas deportivas, veredas, muros de división entre otros.

#### 5. Referencias

Afroughsabet, V., Biolzi, L., & Ozbakkaloglu, T. (2016). High-performance fiber-reinforced concrete: a review. *J Mater Sci*, 51, 6517-6551. doi:10.1007/s10853-016-9917-4

Aperador, W., Carrión, J., & Gonzales, G. (2013). Correlación Between Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(3), 435-450. doi:https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72256-X

Arun, T., Sudharsan, P., & Suresh Kumar, B. (2020). Mechanical properties of concrete beam with steel fiber and bauxite residual. *Materials Today: Proceedings*, 37(2), 3359-3362. doi:https://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.205

- REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. *Rev. Epistemia*, 5(1).
- Ávila, O., Carrillo, J., & Alcocer, S. (2011). Rehabilitación de muros de concreto usando CRFA: Ensayos en mesa vibradora. *Concreto y cemento. Investigacion y desarrollo*, 2(2), 2-17.
- Barbosa de Oliveira, R., Souza, M., Roman, D., & Leal, M. (2020). Analysis of the influence of test method and properties of steel fiber addition on concrete under the three-point flexural tensile. *Ingeniare, Revista Chilena de ingeniería*, 28(3), 373-382. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000300373
- Carrillo, J. (2016). Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 17(3), 317-330. doi:https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.003
- Carrillo, J., & Alcocer, S. M. (2012). Revisión de criterios de sostenibilidad en muros de concreto para viviendas sismorresistentes. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 13(4), 479-487. doi:http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2012.13n4.047
- Carrillo, J., & Díaz, C. (2020). Mechanical Properties of Concrete Slabs Reinforced with Recycled Steel Fibers from Post-Consumer Tires in Bogotá, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 67-79. doi:http://dx.doi.org/10.18359/rcin.4412
- Carrillo, J., Barrera, A., & Acosta, D. (2014). Evaluación del desempeño a tensión por compresión diametral del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306. *Ingeniería y competitividad*, 16(1), 261-271. doi:http://dx.doi.org/10.25100/iyc.v16i1.3730
- Carrillo, J., Cárdenas, J., & Aperador, M. (2015). Effect of chloride ion on the compressive mechanical properties of RC-65/35-BN steel fiber reinforced concrete. *Ingeniería y Desarrollo*, 33(2), 149-171. doi:10.14482/inde.33.2.7075
- 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(2), 59-72. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000200005
- Chiew, S. M., Ibrahim, I. S., Jamaluddin, N., Sarbini, N. N., Ma, C. K., & Ahmad, Y. (2020). Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete under Biaxial Stresses. *ACI Structural Journal*, 117(4), 267-278. doi:http://dx.doi.org/10.14359/51723545
- Christ, R., Pacheco, F., Ehrenbring, H., Quinino, U., Mancio, M., Muñoz, Y., & Tutikian, B. (2019). Estudio del comportamiento mecánico del hormigón de ultra- altas prestaciones (UHPC) reforzado con fibras híbridas y con consumo reducido de cemento. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(2), 159-168. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200159
- De Rivas, B. (2011). FIBRE REINFORCED SPRAY CONCRETE FOR COMPLIANCE WITH CITE SAFETY REQUIREMENT. *Concreto y cemento. Investigacion y desarrollo*, 2(2), 48-58.
- Dhanapal, J., & Jeyaprakash, S. (2020). Mechanical properties of mixed steel fiber reinforced concrete with the combination of micro and macro steel fibers. *Structural Concrete*, 21(1), 458 - 467. doi:10.1002/suco.201700219
- Doo Yeol , Y., Young Soo , Y., & Nemkumar, B. (2015). Flexural response of steel-fiber-reinforced concrete beams: Effects of strength, fiber content, and strain-rate. *Cement and Concrete Composites*, 64(15), 84-92. doi:https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.10.001
- Eva O.L. , L. (2019). How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups? *Composites Part B: Engineering*, 175(17), 359-366. doi:https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107079

- REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. *Rev. Epistemia*, 5(1).
- Faconi, L., Minelli, F., Ceresa, P., & Plizzari, G. (2021). Steel fibers for replacing minimum reinforcement in beams under torsion. *Materials and Structures*, 54(34), 247-260. doi:<https://doi.org/10.1617/s11527-021-01615-y>
- Farfan, M., Pinedo, D., Araujo, J., & Orbezo, J. (2019). STEEL FIBERS IN THE RESISTANCE TO COMPRESSION OF THE CONCRETE. *Revista Gaceta Tecnica*, 20(2), 4-13. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19787.95523>
- Gali, S., & Subramaniam, K. (2017). Evaluation of Crack Propagation and Post-cracking Hinge-type Behavior in the Flexural Response of Steel Fiber Reinforced Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12(11), 365-375. doi:<https://doi.org/10.1007/s40069-017-0197-4>
- Gallo Arciniegas, L., Gonzales, G., & Carrillo, J. (2013). Behavior of ZP-306 steel fiber Reinforced concrete subject to compressive stresses. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23(1), 126-128. doi:<https://doi.org/10.18359/rcin.236>
- Guerini, V., Conforti, A., Plizzari, G., & Kawashima, S. (2018). Influence of Steel and Macro-Synthetic Fibers on Concrete Properties. *Fibers*, 6(47), 1-14. doi:10.3390/fib6030047
- Huang, R., Li, S., Meng, L., Jiang, D., & Li, P. (2020). Coupled Effect of Temperature and Strain Rate on Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 15(48), 117-133. doi:<https://doi.org/10.1186/s40069-020-00423-y>
- Jadidi, A., Amiri, A., & Zeighami, E. (2017). Experimental evaluation of steel fiber effect on mechanical properties of steel fiber-reinforced cement matrix. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 11(42), 249-262. doi:10.3221/IGF-ESIS.42.27
- Juarez, C. A., Mendoza-Rangel, J. M., Valdez-Tamez, P. L., Durán, A., & Gonzales, J. (2015). Comportamiento analítico-experimental a cortante en vigas de concreto fibroreforzado. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 6(2), 64-79.
- Jun-Mo, Y., Doo Yeol, Y., You Chan, K., & Young Soo, Y. (2017). Mechanical Properties of Steam Cured High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete with High-Volume Blast Furnace Slag. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 11(11), 391-401. doi:<https://doi.org/10.1007/s40069-017-0200-0>
- Kai, W., Shiqi, L., Chao, X., Chuyang, C., & Feng, C. (2021). Energy dissipation and debonding mechanism of steel and steel fibre reinforced concrete composite beams. *Engineering Structures*, 117(4), 77-90. doi:<http://dx.doi.org/10.14359/51723506>
- Kamrava, A. R., Najafgholipour, M. A., Fathi, F., & Dehghan, S. M. (2021). An experimental study on the in-plane behavior of unreinforced masonry walls with an opening strengthened using steel fiber reinforced concrete overlays. *Journal of Building Engineering*, 36(15), 305-325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102084>
- Karahan, O., Ozbay, E., Atis, C. D., Lachemi, M., & Hossain, K. M. (2016). Effects of Milled Cut Steel Fibers on the Properties of Concrete. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(7), 2783-2789. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s12205-016-0577-3>
- Meza de Luna, A., Ortiz Lozano, J. A., Peralta Jaime, L., Pacheco Martinez, J., Soto Bernal, J. J., Rangel Martinez, S., . . . Alvarado Flores, J. (2014). Experimental mechanical characterization of steel and polypropylene fiber reinforced concrete. *Técnica de la Facultad de Ingeniería*, 37(2), 108-112.
- Oğuz, D., Tefaruk, H., & Fatih, A. (2015). Experimental research for the effect of high temperature on the mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete.

- REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. *Rev. Epistemia*, 5(1).  
*Construction and Building Materials*, 75(5), 82-88.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.005>
- Renbo , Z., Liu , J., & Xiuli , D. (2021). Three-dimensional meso-scale modelling of failure of steel fiber reinforced concrete at room and elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 278(10), 230-246.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122368>
- Robayo, R., Matthey, P., & Delvasto, S. (2013). Mechanical Behavior of a Fluid Concrete added with Rice Husk Ash (RHA) and Reinforced with Steel Fibers. *Revista de la construcción*, 12(2), 139-151. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000200011>.
- Rodriguez, G., Segura, L., Rodriguez, I., Rolfi, R., Miguez, D., & Fernandez, M. (2018). Hormigón autocompactante con fibras para premoldeados. *Hormigon y acero*, 69(284), 69-75. doi:<https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.04.017>
- Ruiz, D., Ramirez, C., Logreira, L., & León, M. (2015). Evaluation of the behavior of cantilever beams of fiber-reinforced concrete under the application of cyclical loads. *Ingeniería de construcción*, 30(1), 17-31. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000100002>
- San Bartolome, A., & Rafael, R. (2013). Comportamiento a fuerza cortante de muros delgados de concreto reforzados en su zona central con barras de acero, fibra de polipropileno y con fibra de acero. *Investigación y desarrollo*, 5(1), 2-16.
- Seco, C., Muñoz , M., Martinez , E., & Lugo, S. (2015). Evaluation of covered blocks with steel fibers reinforced mortar. *Revista INGENIERIA UC*, 22(1), 77-81. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000100005>
- Silva, D., Carrillo, J., & Sánchez, M. (2016). Performance of Concrete Slabs-on-Ground Reinforced with welded-wire Mesh or Steel Fibers. *Ingeniería de construcción*, 17(4), 499-510. doi:<https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.11.009>
- Simalti, A., & Singh, A. P. (2020). Comparative study on performance of manufactured steel fiber and shredded tire recycled steel fiber reinforced self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 266, 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121102>
- Siva, B., & Bhargav, B. (2018). A Study on the Properties of Concrete with Coconut Fiber, Steel Fiber and Polypropylene Fiber. *The IUP Journal of Structural Engineering*, 11(3), 35-52.
- SUCHÁNEK , V., & SLOVÁČEK , M. (2017). Experimental Analysis of the Proposed Watertight Steel Fibre Concrete. *Solid State Phenomena*, 259, 25-29. doi:<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.259.25>
- Tian Feng , Y., Doo Yeol , Y., Jun Mo , Y., & Young Soo , Y. (2020). Shear Capacity Contribution of Steel Fiber Reinforced High-Strength Concrete Compared with and without Stirrup. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 14(21), 14-31. doi:<https://doi.org/10.1186/s40069-020-0396-2>
- Wang, H., Wei, M., Wu, Y., Huang, J., Chen, H., & Cheng, B. (2020). Mechanical Behavior of steel Fiber-Reinforced Lightweight Concrete Exposed to High Temperatures. *Applied Sciences*, 11(116), 1-20. doi:<https://doi.org/10.3390/app11010116>
- Werkina, Y. (2021). Experimental study of the effect of waste steel scrap as reinforcing material on the mechanical properties of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 14(1), 1-9. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00490>

- REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). Rojas, A., Gómez., Farroñán, M., Chuzón, N y Muñoz, S. (2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. *Rev. Epistemia*, 5(1).
- Xargay , H., Ripani, M., Caggiano, A., Folino, P., & Martinelli, E. (2019). Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios. *Tecnura*, 23(60), 38-51. doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.14697>
- Yasin Onuralp , Ö., Ceyhun , A., & Musa Hakan , A. (2021). Experimental and numerical investigations of steel fiber reinforced concrete dapped-end purlins. *Journal of Building Engineering*, 36(15), 232-252. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102119>
- Zamora, S. A., Salgado, R., Sandoval, L. C., Melendez, R. A., Manzano , E., Yelmi, E., & Herrera, A. L. (2021). Sustainable development of concrete through aggregates and innovative materials: A review. *Applied Sciences*, 11(629), 1-28. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/app11020629>
- Zhang, L., Zhao, J., Fan, C., & Wang, Z. (2020). Effect of Surface Shape and Content of Steel Fiber on Mechanical Properties of Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 1-12. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2020/8834507>
- Zheng, Y., Wu, X., He, G., Shang, Q., Xu, J., & Sun , Y. (2018). Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete by Vibratory Mixing Technology. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1-11. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2018/9025715>
- Zhou, J. (2021). Study on Mechanical Properties of Concrete with Different Steel Fiber Content. *International Journal of Multiphysics*, 15(1), 1-11. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2020/8834507>