



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

FIBRAS DE ACERO PARA MEJORAR LA
RESISTENCIA DEL CONCRETO EN
EDIFICACIONES URBANAS. REVISIÓN
SISTEMÁTICA ENTRE EL AÑO 2010 Y 2020: UNA
REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Civil

Autores:

Eddi Ronald Jara Chambergo
Antonio Alexander Serrano Diaz

Asesor:

Mg. Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

A Dios, por darnos el privilegio de tener salud y vida, de haber llegado a concluir esta revisión sistemática con éxito, a nuestros familiares quienes nos incentivaron y apoyaron en cada etapa de nuestra investigación. Especialmente a nuestros padres porque con sus plegarias, consejos y palabras de aliento hicieron de nosotros mejores personas, los cuales nos guían para cumplir con nuestros objetivos y sueños.

Finalmente, a los interesados en el presente estudio, les pueda servir como inspiración para que puedan mejorar y aportar a la línea de investigación desarrollada.

AGRADECIMIENTO

La presente revisión sistemática agradecemos a Dios por ser nuestro guía e iluminar nuestro camino con paciencia y sabiduría para culminar con éxito nuestras metas y objetivos propuestos.

A nuestros padres por ser el pilar fundamental y siendo el apoyado incondicional, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron durante el presente estudio.

Agradecemos a nuestro asesor el Ingeniero, Alberto Rubén Vázquez Díaz, quien, con su experiencia, conocimiento y motivación nos orientó a culminar con éxito cada etapa de la investigación.

Finalmente, agradecemos a los todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarnos como personas y estudiantes de la Universidad

Privada del Norte

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS	14
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de registro de artículo	15
Tabla 2 Productividad según el tipo de estudio	16
Tabla 3 Inducción de categorías	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Diagrama de flujo de inclusión y exclusión de artículos</i>	14
Figura 2 Gráfico de estudios incluidos por año de publicación.....	17
Figura 3 Colaboración en porcentajes de las bases de datos.....	17

RESUMEN

Siendo el concreto uno de los materiales más importantes en el mundo por su trabajabilidad y manejabilidad, debido a esto, se desarrolla nuevas tecnologías las cuales tienden a mejorar las propiedades del concreto, por ello en la presente investigación busca conocer los antecedentes de la influencia de las fibras de acero en las propiedades del concreto. Se busco información en base de datos confiables utilizando 20 estudios para esta revisión sistemática, donde se encontró el 5% de Biblioteca UPN, 5% de Science direct, 10% de Redalyc, 20% de Scielo, 20% de Ebsco y el 40% de Proquest. Estos artículos cumplieron con criterios de inclusión y selección, durante el periodo de publicación entre loa años 2010 y 2020. Luego, centramos la investigación en los beneficios, desventajas, características y comportamiento de las fibras de acero. Por consiguiente, se pudo llegar a concluir que el concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) tiene ventajas y desventajas en las propiedades de este tipo de concreto. Finalmente, el acceso a algunos artículos para enriquecer este estudio fue una limitación.

PALABRAS CLAVES: Concreto reforzado con fibras de acero, beneficios del concreto reforzado con fibras de acero, desventajas del concreto reforzado con fibras de hacer, características del concreto reforzado con fibras de acero, comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El concreto es el material primordial para las construcciones de edificaciones a nivel mundial debido a su versatilidad, durabilidad y trabajabilidad, está compuesto por un conglomerado de materiales como: Cemento, Agregado, Agua y adicionalmente Aditivo. Por ello se han fomentado métodos innovadores para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Una de las alternativas para mejorar el concreto convencional simple es añadir fibras de acero para lograr un nuevo producto con el fin de mejorar sus características, es por ello que, "El uso de concreto reforzado con acero (SFRC) para estructuras de edificios ha crecido durante las últimas décadas debido a su comportamiento mecánico y ventajas de construcción." (Lamus, Caicedo y Libero, 2011)

Las fibras de acero son materiales pequeños diseñados de longitud y diámetro corto, que se distribuyen en la mezcla de concreto para aportar y/o reforzar la resistencia del concreto convencional. Por consiguiente, (Gallo, González y Carrillo, 2013) atestiguan lo siguiente: Las fibras de acero incrementan las propiedades a flexión, tensión, cortante, fatiga, impacto y desgaste, y controlan la figuración del concreto simple. Por tanto, la adición de fibras de acero promueve concretos con mejores desempeños y con mayor durabilidad. Usualmente, las fibras de acero producen ligeras modificaciones de la resistencia a compresión del concreto.

La resistencia del concreto es la capacidad que tiene para soportar diferentes tipos de cargas por su diseño de la estructura u otros factores. Dicha resistencia varía por diferentes factores como: La resistencia a la compresión de los concretos, depende de la resistencia del mortero (mezcla de cemento, agua y arena), de los efectos que sobre la mezcla tenga el agregado grueso y la interface entre estos dos compuestos, del contenido de aire y de las

adiciones minerales. (González, Guerrero, Delvasto y Ernesto, 2012). Además, el concreto es evaluado a los 28 días donde logra alcanzar su máxima resistencia, sin embargo, se puede evaluar cada ciertos días para verificar la ganancia de resistencia. Asimismo, para mejorar las características del concreto se puede agregar diferentes tipos de fibras como acero, sintéticas, vidrio, poliméricas, entre otros.

El concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) se ha convertido en un producto que mejora las propiedades físicas y mecánicas del concreto tradicional, como su resistencia, debido a ello, es un material utilizado para la construcción de edificaciones y/o estructuras especiales. Es por ello, (López y Mendoza, 2016) toman en consideración que: la incorporación de fibras de acero en el concreto mejora muchas de las propiedades, entre ellas la tenacidad, su resistencia a tensión, flexión, impacto y choque térmico, además permite una menor contracción por secado, lo hace dúctil y mejora de forma notable su durabilidad. Por lo tanto, su principal competencia del CRFA es absorber energía, lo cual se debe a las micro fisuras, las cuales se abren de manera similar entre ellas, pero dicha transmisión es controlada por las fibras.

En base a lo mencionado se desarrolla el estudio y análisis de la influencia de las fibras de acero para mejorar la resistencia del concreto en construcciones de edificaciones urbanas, asimismo la finalidad del estudio es conocer los antecedentes de la influencia de las fibras de acero en las propiedades del concreto, esta es una revisión sistemática entre los años 2010 y 2020.

Actualmente se viene desarrollando nuevas tecnologías para mejorar la calidad del concreto, por ello, utilizamos materiales como la fibra de acero para crear nuevos productos los cuales ayuden a cumplir y mejorar los indicadores de la resistencia del concreto. (López

y Mendoza, 2016) recomienda que: Al estudiar el comportamiento de las fibras de acero en el concreto, distintos autores han demostrado que la incorporación de éstas mejora muchas de las propiedades, entre ellas la tenacidad, su resistencia a tensión, flexión, impacto y choque térmico, además permite una menor contracción por secado, lo hace dúctil y mejora de forma notable su durabilidad. Finalmente, el concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) en los últimos tiempos es muy utilizado debido al comportamiento mecánico y las múltiples ventajas que genera en los procesos constructivos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Criterios de inclusión

Los artículos que se consideran para esta investigación según la metodología PRISMA, se aplican criterios de inclusión para elegir artículos originales, los cuales se encuentran alojados en bases de datos científicas, confiables y de calidad, las cuales son respaldadas por una universidad, generalmente estos artículos deben tener una estructura IMRD (Introducción, Metodología, Resultados y Discusión). Además, la búsqueda de estos artículos científicos debe contar con máximo 10 años de antigüedad (2010-2020). Por otro lado, en el título y resumen de los artículos seleccionados debe de contener las variables delimitadas en esta investigación (V1: Fibras de acero, V2: Resistencia del concreto). Finalmente, para poder tener un mayor rango de información utilizamos artículos científicos y artículos de revistas científicas en español e inglés.

Recursos de información

Teniendo claro los criterios de inclusión mencionados, se realiza la búsqueda de información en base de datos confiables las cuales contienen información académica y de investigación como revistas y artículos científicos. Las bases de datos utilizadas para indagar son SCIEDIRECT, REDALYC, EBSCO, BIBLIOTECA UPN, PROQUEST y SCIELO, de las cuales se revisan en total 32 artículos. Además, se tiene en cuenta la pregunta, objetivo y justificación de la presente investigación, por ello, se considera seleccionar 12 artículos científicos y 8 artículos de revista para desarrollar el estudio.

Búsqueda

Teniendo en cuenta las bases de datos mencionadas se realiza la búsqueda de información partiendo de la combinación de las variables de estudio como palabras clave: "Fibras de acero en la resistencia del concreto" y "Resistencia del concreto mediante fibras

de acero”. Asimismo, se utiliza sinónimos como “Hormigón reforzado con fibras de acero”, además, explorando a fondo y teniendo una mejor accesibilidad y disponibilidad de información relevante, se emplea el uso de conectores lógicos con las palabras en inglés: “reinforced concrete AND steel fibers”, “concrete strength AND steel fibers”, también, se tiene en cuenta la antigüedad de los artículos los cuales deben estar entre los años 2010 - 2020 y los resultados sean artículos científicos o artículos de revista con respaldo de una Universidad, los cuales buscan responder la pregunta del presente estudio.

Descarte e inclusión

De los artículos que se considera para este estudio se descarta los que no cumplen con la estructura IMRD debido a que se necesita la discusión de resultados para poder compararlos, asimismo, los artículos que no contestan a la pregunta de esta investigación son excluidos, por ello, 12 de 32 artículos no aportan al estudio centrándose en características diferentes a las que plantea esta investigación, por otro lado, los artículos de investigación que son seleccionados para este análisis, cumplen con los parámetros establecidos y contribuyen con el objetivo del estudio, estos están asociados a las variables delimitadas, por estas razones, 20 de 32 artículos son considerados y están dentro del lineamiento de la investigación, además, están en el rango de años de la búsqueda de información.

Selección de datos

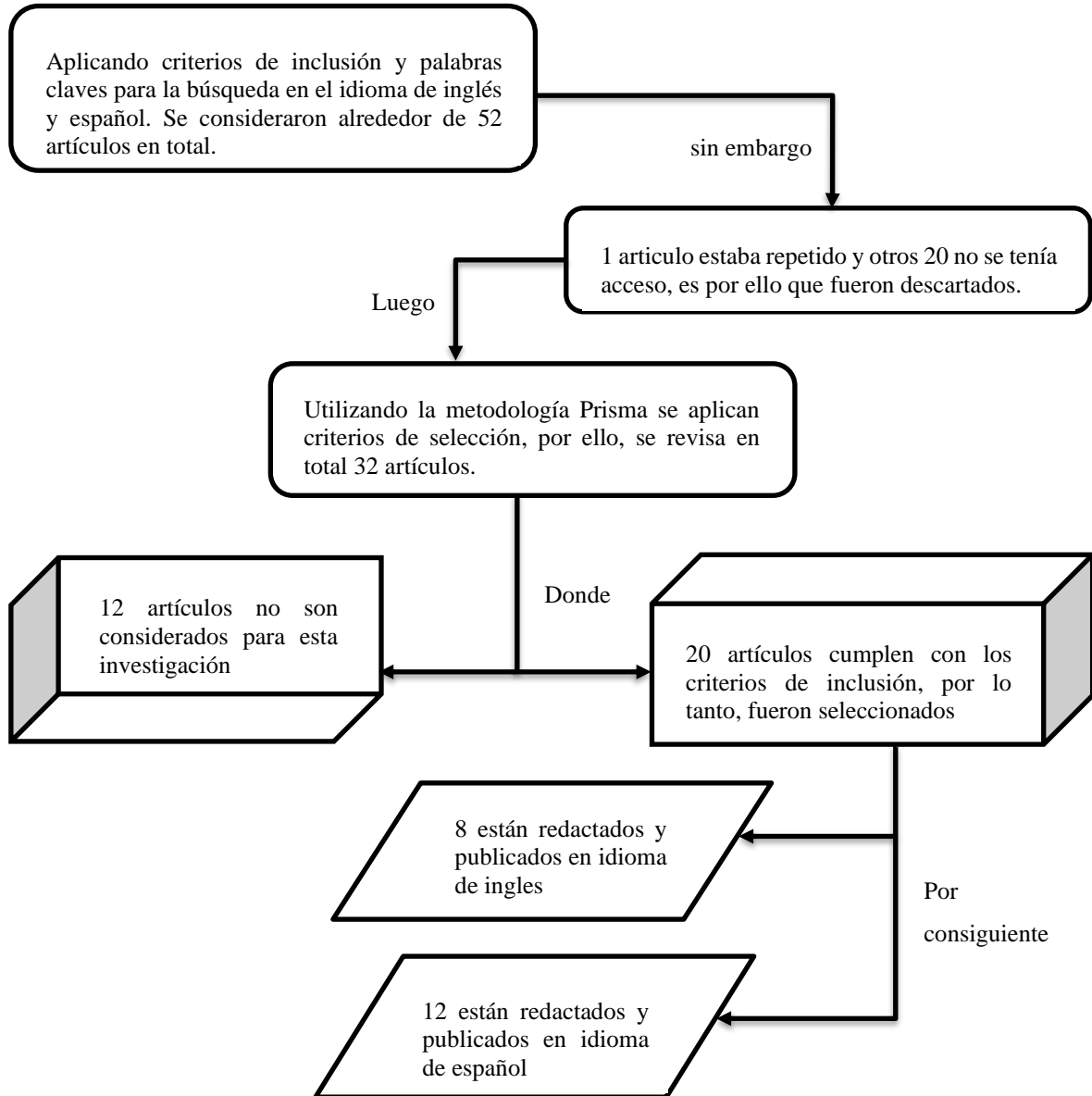
Los artículos científicos seleccionados para este estudio son analizados de forma minuciosa utilizando criterios específicos y una matriz de recolección de datos, la cual ayuda a obtener una mejor calidad de información y perspectivas sobre estos artículos. Por consiguiente, se considera que sea un artículo científico o un artículo de revista científica, para ello la publicación de estos deben ser respaldados por una universidad o centro de investigación científica y el país de estas, asimismo, tengan un año de publicación donde los

autores de los estudios seleccionados son especialistas en el tema que investigan y desarrollan, igualmente estos autores hayan tenido en cuenta la estructura de la investigación IMRD. También, incluir las palabras claves de búsqueda de los artículos, y estos ser separados en sus variables del título de cada investigación, a su vez saber cuál es el objetivo de estudio, la metodología, los resultados, instrumentos de medición y finalmente las conclusiones de cada artículo seleccionado.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Figura 1

Diagrama de flujo de inclusión y exclusión de artículos



Nota: Se menciona el proceso realizado de inclusión y exclusión de los artículos, donde se realiza el proceso de selección de artículos que sirven para el presente estudio.

Tabla 1

Matriz de registro de artículo

Nº	Base de datos	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1	Scielo	Ávila, O; Carrillo, J; Alcocer, S.	2011	Rehabilitación de muros de concreto usando CRFA: Ensayos en mesa vibradora
2	Redalyc	Gonzales, L; Guerrero, A; Vasto, A; Will, A.	2012	Exploración con redes neuronales artificiales para estimar la resistencia a la compresión, en concretos fibroreforzados con acero.
3	Scielo	Carrillo, J; Aperador, W; González, G.	2012	Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero
4	Biblioteca Upn	Gallo-Arciniegas, L; González, G; Carrillo, J.	2013	Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometido a esfuerzos de compresión
5	Scielo	Carrillo, J; Barrera, A; Acosta, D.	2013	Evaluación del desempeño a tensión por compresión diametral del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306.
6	Redalyc	Carrillo, J; Cárdenas, J; Aperador, W.	2015	Efecto del ion cloruro sobre las propiedades mecánicas a compresión del concreto reforzado con fibras de acero RC-65/35-BN
7	Science direct	Carrillo, J; Silva, D.	2016	Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero
8	Scielo	Carrillo, J; Silva, D; Sánchez, M.	2016	Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero
9	Ebsco	Sánchez, J; Mateos, I; Cobo, A; Llauradó, N.	2017	Evolución con la edad de las propiedades mecánicas de hormigones autocompactantes reforzados con fibras de acero sometidos a compresión
10	Proquest	Isojeh, B; El-Zeghayar, M; Vecchio, F.	2017	Fatigue Resistance of Steel Fiber-Reinforced Concrete Deep Beams
11	Proquest	Kim, C; Lee, H; Park, H; Hong, G; Kang, S.	2017	Effect of Steel Fibers on Minimum Shear Reinforcement of High-Strength Concrete Beams
12	Proquest	Gali, S; Subramaniam, K.	2017	Evaluation of Crack Propagation and Post-cracking Hinge-type Behavior in the Flexural Response of Steel Fiber Reinforced Concrete
13	Proquest	Hadi, M; Balanji, K; Sheik, N.	2017	Behavior of Steel Fiber-Reinforced High-Strength Concrete Columns under Different Loads

14	Ebsco	Picazo, A; Alberti, M; Enfedaque, A; Gálvez, J.	2018	Evaluación de la resistencia a cortante de hormigones reforzados con fibras de poliolefina y acero
15	Ebsco	Serrano, R; Prieto, M; González, S; López, J.	2018	Estudio de la conductividad térmica en el hormigón en masa con fibras de polipropileno y acero
16	Proquest	Sharma, S; Aurora, V; Kumar, S; Daniel, N; Sharma, A.	2018	Durability Study of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete
17	Ebsco	Serrano, R; Prieto, M; García, P; Martínez, I.	2019	Análisis del comportamiento de hormigones con hibridación de fibras de acero y nanofibras de carbono
18	Proquest	Sivakumar, I; Sivagamasundari, R.	2019	The Influence of Steel Fiber on the Mechanical Properties of Concrete: An Experimental and Analytical Study
19	Proquest	Abbass, A; Abid, S; Mustafa, O.	2019	Experimental Investigation on the Effect of Steel Fibers on the Flexural Behavior and Ductility of High-Strength Concrete Hollow Beams
20	Proquest	Dhanapal, J; Jeyaprakash, S.	2020	Mechanical properties of mixed steel fiber reinforced concrete with the combination of micro and macro steel fibers

Nota: Aplicando la metodología Prisma y criterios de inclusión se tiene en cuenta 20 artículos seleccionados para realizar la presente revisión sistemática, dentro de ellos artículos en idioma de inglés y español.

Tabla 2

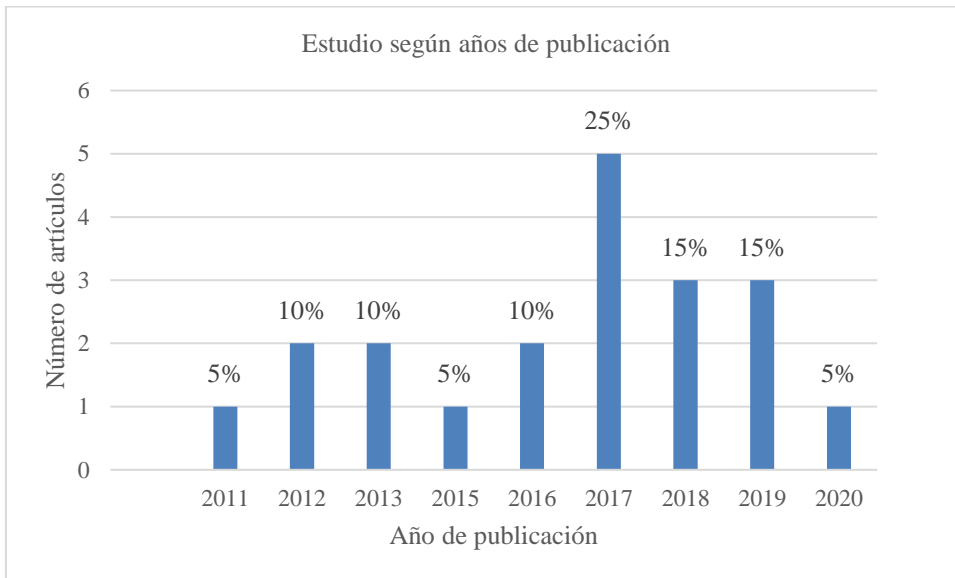
Productividad según el tipo de estudio

Tipo de documentos	F	%
Artículos de revista	8	40
Artículos científicos	12	60
Total	20	100

Nota: Artículos considerados en el presente estudio, donde, F (cantidad de artículos) y % (porcentaje de F).

Figura 2

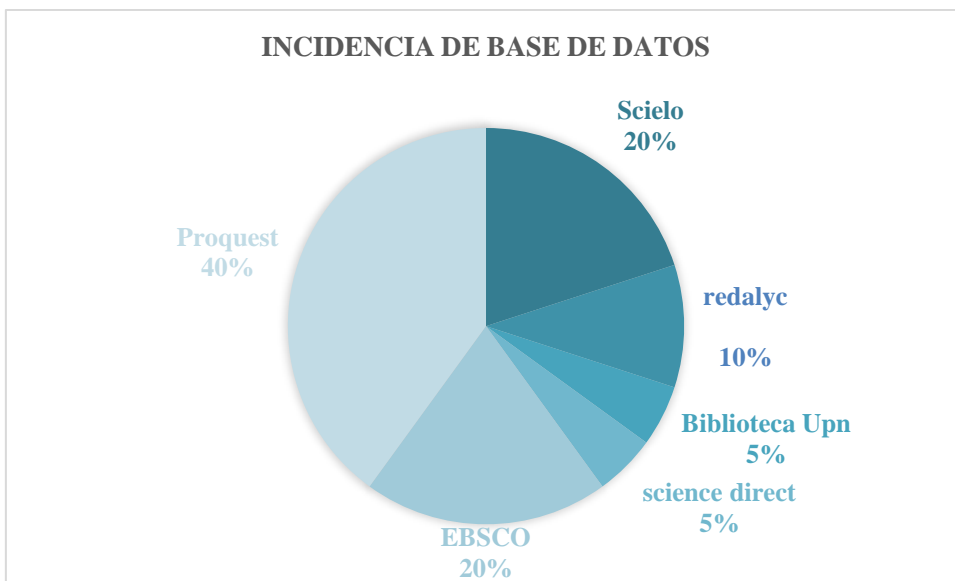
Gráfico de estudios incluidos por año de publicación



Nota: En la gráfica se presenta el número de investigaciones publicadas en los años considerados para esta revisión sistemática, de esta se observa que los artículos del año 2017 son de mayor (cantidad) aporte.

Figura 3

Colaboración en porcentajes de las bases de datos



Nota: Aportación en porcentaje de las bases de datos con estudios científicos a la presente investigación.

Tabla 3

Inducción de categorías

Categorías	Aportes
Beneficios de aprovechar fibras de acero	<p>Se mejora el concreto con la adición óptima del contenido de fibra de acero en 1.5% en volumen. También se logra apreciar que el desgaste por abrasión disminuye con un aumento en el porcentaje de fibra (Sharma, Arora, Kumar, Daniel y Sharma, 2018).</p> <p>La presencia de fibras de acero dio como resultado que las vigas resistieran más ciclos bajo alta deformación antes de la fractura final. Esto se atribuye al puenteo de grietas de las fibras de acero. (Isojeh, El-Zeghayar y Vecchio, 2017)</p> <p>La incorporación de fibras de acero en los especímenes cambió los modos de falla de las muestras de frágiles a dúctiles. Además, genera el retraso en el desprendimiento de la cubierta de hormigón cuando es sometida a la carga axial máxima. (Muhammad, Emdad y Neaz, 2017).</p> <p>El uso de fibras de acero híbridas mejorará la resistencia y la ductilidad de las columnas de concreto de alta resistencia. (Muhammad, Emdad y Neaz, 2017).</p> <p>La inclusión de fibra de acero mejoró la ductilidad de las vigas de hormigón armado, y que el aumento porcentual máximo se logró cuando se utilizó 1,5% de fibra de acero. (Abbass, Abid, y Özakça, 2019).</p> <p>La resistencia máxima a tensión por compresión diametral y su deformación unitaria asociada incrementan alcanzando un punto máximo donde las fibras proporcionan un efecto de "enganche" en el concreto, lo que genera un incremento en sus capacidades de resistencia y de desplazamiento. (Carrillo, Barrera y Acosta, 2013).</p> <p>Al utilizar fibras de acero con una fracción de volumen (Vf) de 0.75%, la resistencia al corte de vigas de concreto de alta y normal (21 y 60 MPa) aumentó significativamente más de 50 % de la fuerza cortante especificado en ACI 318. (Kim, Lee, Park, Hong y Kang, 2017).</p> <p>El contenido de volumen de fibra de acero juega un rol importante en la mejora de la recuperación de la carga asociada con un comportamiento de tipo bisagra, tiene la respuesta de flexión posterior al pico, lo que contribuye a aumentar la tenacidad (Gali y Subramaniam, 2017).</p>
Características de las fibras en el concreto	<p>El hormigón con adición de fibras de acero absorbe más temperatura debido a la mayor conductividad térmica de las fibras, retrasando el paso de calor a la masa cementicia, por lo tanto, evita el agrietamiento por diferencia de temperatura del hormigón. (Serrano, Prieto, González y López, 2018).</p> <p>Las fibras de acero incorporadas en el hormigón ayudan estéticamente al concreto, al controlar y prevenir las grietas por contracción, asimismo, se puede mejorar la durabilidad del concreto. (Sharma, Arora, Kumar, Daniel y Sharma, 2018)</p> <p>Los hormigones con adición de fibras híbridadas de acero y las nanofibras de carbono presentan una buena adherencia entre el gel cementicio y los áridos, aportando además el nexo de unión que proporcionan las fibras con el gel de cemento, que ayudará a disminuir la fisuración. (Serrano, Prieto, García y Martínez, 2019)</p> <p>Al optimizar el volumen de la fibra de acero como refuerzo de la matriz cementicia, se considera la variación de la resistencia a la compresión, también se incluye la morfología y relación de aspecto de la fibra. (Gonzales, Guerrero, Vasto y will, 2012).</p> <p>La fibra de acero enganchada muestra una mejora en todas las propiedades del hormigón en comparación con la fibra de acero ondulada. (Sivakumar y Sivagamasundari, 2019)</p>

	<p>Al incrementar la dosificación de fibras de acero, la absorción de energía aumenta, dado que las fibras generan un mayor número de micro-fisuras y un efecto de “enganche” que permite que se generen anchos de grietas significativos antes que se presente la falla por extracción de las fibras. (Carrillo, Silva y Sánchez, 2016).</p> <p>En la deformación del CRFA asociada a la resistencia máxima a compresión se observó que este valor fue, en promedio, 56% mayor al observado en el concreto simple, debido al efecto de “enganche” de las fibras en la matriz del concreto; es decir, mayor capacidad de deformación asociada a la resistencia. (Carrillo y Silva, 2016).</p>
Comportamiento del CRFA frente a cargas	<p>La fibra de acero genera que el concreto se vuelva ligeramente menos resistente, pero más dúctil cuando éste se somete a fuerzas axiales de compresión. (Carrillo, Aperado y González, 2012).</p> <p>Debido al comportamiento característico del CRFA, el nivel de agrietamiento en los modelos rehabilitados durante los eventos anteriores a una falla fue menor que el observado en los modelos originales de concreto convencional. (Ávila, Carrillo y Alcocer, 2011)</p> <p>El CRFA presentó una falla de compresión tipo transversal, ya que las fibras ayudan a disminuir el agrietamiento en la falla del espécimen, esto permite afirmar que la falla a compresión del CRFA se produjo por adherencia en la matriz. (Carrillo, Cárdenas y Aperador, 2015).</p> <p>El concreto mezclado con microfibras de acero tiene una mejor capacidad de trabajo que el concreto con macrofibras de acero. Además, las microfibras se comportan en la resistencia a la compresión mejor que las macrofibras. (Dhanapal y Jeyaprakash, 2020).</p> <p>El comportamiento de los diferentes hormigones reforzados con fibras permitió ver que disipan gran cantidad de energía durante la fisuración. (Picazo, Alberti, Enfedaque y Gálvez, 2018).</p> <p>La tenacidad aumenta de manera lineal; es decir, se demuestra que la dosificación y la relación de aspecto de las fibras incrementan la energía disipada del concreto. (Carrillo, Barrera y Acosta, 2013).</p> <p>Debido a la tenacidad de los hormigones reforzados con fibras de acero se aconseja su uso en zonas sísmicas o en elementos sometidos a impacto, como en aplicaciones militares o pisos industriales. Además tiene un buen comportamiento frente a retracción y la mejora que se produce en el comportamiento a flexión por ello se recomienda utilizar grandes soleras (Sánchez, Mateos, Cobo y Llauradó, 2017).</p>
Desventaja de utilizar fibras de acero	<p>La manejabilidad del concreto disminuyó significativamente a medida que incrementó la cantidad de fibras en el concreto, especialmente cuando se utilizan fibras tipo con longitud igual a 60 mm. (Carrillo, Aperado y González, 2012).</p> <p>A medida que incrementó cantidad de fibras de acero, la resistencia a compresión descendió levemente. Esto se genera debido al reemplazo de agregado grueso por fibras de acero en la mezcla y por el aumento de contenido de aire incluido en el momento del mezclado. (Gallo, González y Carrillo, 2013)</p> <p>Cuando se agrega fibras de acero al concreto la porosidad incrementa y, por tanto, puede disminuir la resistencia a compresión. Estos dos efectos combinados tienden a “anularse” entre sí, provocando un efecto poco relevante de las fibras en la resistencia a compresión del concreto. (Carrillo, Cárdenas y Aperador, 2015).</p> <p>Para Volumen de fibras hasta 0,75%, la resistencia proporcionada por las fibras de acero durante la etapa de propagación de grietas es insuficiente para evitar un ablandamiento en la flexión. (Gali y Subramaniam, 2017).</p>

Nota: Revisando los artículos considerados para este estudio, se obtienen aportes relacionados al objetivo y pregunta de la presente investigación, estos se categorizan según la relación e importancia de sus aportes.

Beneficios de aprovechar fibras de acero

La inclusión de fibras de acero en el concreto genera grandes beneficios y aportaciones a su comportamiento, debido a ello aportan una mejora en distintas propiedades de este concreto reforzado con fibras de acero (CRFA), asimismo, este material genera el cambio del tipo de falla del concreto frágil a dúctil, siendo esta última la recomendable a diseñar por resistencia y la más utilizada actualmente, evitando deformarse antes de llegar a la rotura. También, es importante utilizar el CRFA debido al "agarre" que genera después de llegar al pico más alto de su resistencia. De igual manera, en el 2017, Isojeh et. al., consideran que "la presencia de fibras de acero dio como resultado que las vigas resistieran más ciclos bajo alta deformación antes de la fractura final. Esto se atribuye al puenteo de grietas de las fibras de acero". Por consiguiente, el contenido de volumen de fibra de acero juega un rol importante en la mejora de la recuperación de la carga asociada con un comportamiento de tipo bisagra, tiene la respuesta de flexión posterior al pico, lo que contribuye a aumentar la tenacidad (Gali y Subramaniam, 2017).

Características de las fibras en el concreto

Según (Sharma et. al., 2018) "Las fibras de acero incorporadas en el hormigón ayudan estéticamente al concreto, al controlar y prevenir las grietas por contracción, asimismo, se puede mejorar la durabilidad del concreto". Además, en el 2019, Sivakumar y Sivagamasundari en su estudio aportan que, "La fibra de acero enganchada muestra una mejora en todas las propiedades del hormigón en comparación con la fibra de acero ondulada". Por ello, el CRFA tiene una buena absorción térmica evitando grietas cuando es sometido a altas temperaturas, de igual manera cuando se asocia con otro material como la

nano fibra de carbono tiende a mejorar su adherencia al gel cementicio, También, al tener una gran tenacidad tiene una mejor capacidad de deformación.

Comportamientos del CRFA frente a cargas

Dhanapal y Jeyaprakash en el año 2020, consideran que, "El concreto mezclado con microfibra de acero tiene una mejor capacidad de trabajo que el concreto con macrofibras de acero. Además, las microfibras se comportan en la resistencia a la compresión mejor que las macrofibras". Esto se debe, que las microfibras presentan una distribución más homogénea, en cambio, al utilizar las macrofibras en la mezcla de concreto suele tener mayor contenido de aire en su estructura.

Sin embargo, debido a la tenacidad de los hormigones reforzados con fibras de acero se aconseja su uso en zonas sísmicas o en elementos sometidos a impacto, como en aplicaciones militares o pisos industriales. Además tiene un buen comportamiento frente a retracción y la mejora que se produce en el comportamiento a flexión por ello se recomienda utilizar grandes soleras (Sánchez, Mateos, Cobo y Llauradó, 2017). Debido a esto, aplicar fibras de acero al concreto en lugares específicos donde están sometidos a constante movimiento, liberación de energía o cargas puntuales, generan una mitigación de grietas o fisuras.

Desventaja de utilizar fibras de acero

Al agregar fibras de acero al concreto, este incorpora aire al momento de mezclar los materiales y obtener el producto final (CRFA), generando una disminución de la resistencia a la compresión, pues, aumentando la cantidad de fibras de acero las cuales sustituyen al agregado grueso, ocasionan una menor trabajabilidad del concreto. Por lo tanto, (Gallo et al., 2013) afirma que, a medida que incrementó cantidad de fibras de acero, la resistencia a

compresión descendió levemente. Esto se genera debido al reemplazo de agregado grueso por fibras de acero en la mezcla y por el aumento de contenido de aire incluido en el momento del mezclado. Asimismo, "La manejabilidad del concreto disminuyó significativamente a medida que incrementó la cantidad de fibras en el concreto, especialmente cuando se utilizan fibras tipo con longitud igual a 60 mm" (Carrillo et al., 2012).

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Al analizar los artículos de investigación que sirven como base y sustento a la presente revisión sistemática, la cual se centra en añadir fibras de acero en el concreto, esto llevo a concluir los siguiente:

Estas logran mejorar la resistencia a la flexión y genera una mayor tenacidad. Asimismo, origina que el tipo de falla en el concreto frágil cambie a dúctil. Además, tiene un mejor comportamiento de adherencia del concreto post rotura evitando el desprendimiento instantáneo de este.

Ayudan a controlar las fisuras o grietas que se presentan, por motivos del uso o eventos que suelen ocasionar, por otro lado, el volumen de las fibras de acero aumenta el contenido de aire en la mezcla del concreto. Sin embargo, al incluir entre el 1% y el 1.5% de fibras de acero, los investigadores obtuvieron mejores resultados.

Estas fibras hacen que la resistencia a la compresión disminuya debido a la porosidad que contiene el concreto reforzado con fibras de acero, incluso la trabajabilidad se ve afectaba cuando se incrementa el volumen de fibras. No obstante, este tipo de concretos tienen un buen comportamiento en la resistencia a la abrasión.

Se recomienda realizar una búsqueda más amplia de artículos de investigación para tener aportes destacados, consecuentemente, mayor rango de análisis en los resultados, comparándolos entre ellos, y así realizar una correcta y adecuada revisión sistemática.

Las limitaciones encontradas durante la búsqueda de información fue el acceso a algunos artículos de investigación bloqueados por las bases de datos. Además, todos los artículos de investigación a considerar deben de contar con una estructura IMRD.

REFERENCIAS

- Abbass, A., Abid, S. & Özakça, M. (2019). Investigación experimental sobre el efecto de las fibras de acero sobre el comportamiento a la flexión y la ductilidad de vigas huecas de hormigón de alta resistencia. *Avances en Ingeniería Civil*, 2019, 13. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2019/8390345>
- Ávila, O., Carrillo, J., & Alcocer, S. (2011). Rehabilitación de muros de concreto usando CRFA: Ensayos en mesa vibradora. Concreto y cemento. *Investigación y desarrollo*, 2(2), 2-17. Recuperado de la página web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000100001&lng=en&tlng=en.
- Carrillo, J., & Cárdenas, J., & Aperador, W. (2015). Efecto del ion cloruro sobre las propiedades mecánicas a compresión del concreto reforzado con fibras de acero RC-65/35-BN. *Ingeniería y Desarrollo*, 33(2), 149-171. Recuperado de la página web: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=852/85241628002>
- Carrillo, J., & Silva, D. (2016). Flexural Tests of Concrete Slabs-on-Ground Reinforced with Steel Fibers. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 17(3), 317-330. doi: <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.003>
- Carrillo, J., Aperador, W., & González, G. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 14(3), 435-450. Recuperado de la página web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432013000300013&lng=en&tlng=en.
- Carrillo, J., Barrera, A. & Acosta, D. (2014). Assessment of the splitting-tensile strength of ZP-306 steel fiber reinforced concrete. *Ingeniería y competitividad*, 16(1), 261-272.

Recuperado de la página web:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332014000100023&lng=en&tlng=en.

Carrillo, J., Silva, D., & Sánchez, M. (2016). Performance of Concrete Slabs-on-Ground Reinforced with Welded-Wire Mesh or Steel Fibers. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 17(4), 499-510. Recuperado de la página web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432016000400499&lng=en&tlng=en.

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: <http://dx.doi.org/10.1002/suco.201700219>

Gali, S., & Subramaniam, KV. (2017). Evaluación de la propagación de grietas y el comportamiento de tipo bisagra posterior al agrietamiento en la respuesta a la flexión del hormigón reforzado con fibra de acero. *Revista Internacional de Estructuras y Materiales de Concreto*, 11 (2), 365-375. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s40069-017-0197-4>

Gallo, L. P., González, G., & Carrillo, J. (2013). Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometido a esfuerzos de compresión. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 23(1), 117-133. doi: <https://doi.org/10.18359/rcin.236>

González, L., Guerrero, A., Delvasto, S., & Ernesto, A. (2012). Exploración con redes neuronales artificiales para estimar la resistencia a la compresión, en concretos fibroreforzados con acero. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 19-41. Recuperado de la página web: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=911/91125275002>

- Hadi, M., Balanji, E., & Sheikh, M. (2017). Comportamiento de columnas de hormigón reforzado con fibra de acero de alta resistencia bajo diferentes cargas. *Revista estructural de ACI, 114 (4)*, 815-826. doi: <http://dx.doi.org/10.14359/51689781>
- Isojeh, B., El-Zeghayar, M. & Vecchio, F. (2017). Resistencia a la fatiga de vigas profundas de hormigón reforzado con fibra de acero. *ACI Structural Journal, 114 (5)*, 1215-1226. doi: <http://dx.doi.org/10.14359/51700792>
- Kim, C., Lee, H., Park, H., Hong, G. & Kang, S. (2017). Efecto de las fibras de acero en el refuerzo de corte mínimo de vigas de hormigón de alta resistencia. *ACI Structural Journal, 114 (5)*, 1109-1119. doi: <http://dx.doi.org/10.14359/51689782>
- Lamus, F., Caicedo, M., & Linero, D. (2011). Simulación numérica del comportamiento elástico del concreto reforzado con fibras cortas de acero en condición plana de esfuerzos. *Ingeniería e Investigación, 31(1)*, 26-38.
- López, J. & Mendoza, C. (2016). Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado, *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*.
- Picazo, Á., Alberti, M., Enfechaque, A., & Gálvez, J. (2018). Evaluación de la resistencia a cortante de hormigones reforzados con fibras de poliolefina y acero. *DYNA - Ingeniería e Industria, 94(2)*, 211–215. doi: <https://doi.org/10.6036/8485>
- Sánchez, J., Mateos, I., Cobo, A., & Llauradó, N. (2017). Evolución con la edad de las propiedades mecánicas de hormigones autocompactantes reforzados con fibras de acero sometidos a compresión. *DYNA - Ingeniería e Industria, 92(2)*, 158.
- Serrano, R., Prieto, M., García, P., & Martínez, I. (2019). Análisis del comportamiento de hormigones con hibridación de fibras de acero y nanofibras de carbono. *DYNA - Ingeniería e Industria, 94(4)*, 374.

- Serrano, R., Prieto, M., González, S., & López, J. (2018). Estudio de la conductividad térmica en el hormigón en masa con fibras de polipropileno y acero. *DYNA - Ingeniería e Industria*, 94(2), 137.
- Sharma, S., Arora, V., Kumar, S., Daniel, Y & Sharma, A. (2018). Estudio de durabilidad del hormigón reforzado con fibra de acero de alta resistencia. *ACI Materials Journal*, 115 (2), 219-225. doi: <http://dx.doi.org/10.14359/51701122>
- Sivakumar, I., & Sivagamasundari, R. (2019). La influencia de la fibra de acero en las propiedades mecánicas del hormigón: un estudio experimental y analítico. *IUP Journal of Structural Engineering*, 12 (3), 51-62. Recuperado de la página web: <https://search.proquest.com/docview/2276736610?accountid=36937>