



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**Aplicación de las fibras metálicas recicladas en la
elaboración de concreto**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER
EN INGENIERÍA CIVIL**

Autores

Morales Vasquez Christian Junior

<https://orcid.org/0000-0001-8262-9774>

Suarez Chilon Pierina Antuane

<https://orcid.org/0000-0002-3531-9893>

Asesor

Muñoz Pérez Sócrates Pedro

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

Línea de Investigación

**Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y la
Industria en un Contexto de Sostenibilidad**

Sublínea de Investigación

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura**

Pimentel – Perú

2024



Universidad
Señor de Sipán



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(imos) la **DECLARACIÓN JURADA**, soy(somos) del programa de estudios de ingeniería civil de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

Aplicación de las fibras metálicas recicladas en la elaboración de concreto

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán (CIEI USS) conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, con relación a las citas y referencias bibliográficas, respetando al derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y auténtico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Morales Vásquez Christian Junior	DNI: 70924748	
Suarez Chilón Pierina Antuane	DNI: 73261972	

Pimentel, 26 de agosto de 2024

PAPER NAME

Documento sin título

AUTHOR

-

WORD COUNT

3022 Words

CHARACTER COUNT

16136 Characters

PAGE COUNT

13 Pages

FILE SIZE

19.1KB

SUBMISSION DATE

Aug 27, 2024 12:21 AM GMT-5

REPORT DATE

Aug 27, 2024 12:21 AM GMT-5**● 9% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 9% Internet database
- 0% Publications database
- 3% Submitted Works database

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional me han acompañado en cada paso de este camino. A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia; por su comprensión y aliento constante, que me inspiraron a seguir adelante en los momentos más difíciles.

Morales Vasquez Christian Junior

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios y posterior mente a mi familia que siempre me a brindado su apoyo para lograr cada una de mis metas.

Suarez Chilon Pierina Antuane

Agradecimientos

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia por su paciencia, comprensión y constante aliento, que me dieron la fuerza para continuar y culminar este trabajo. Así como a la Universidad Señor de Sipán y docentes que día a día contribuyeron con mi formación profesional.

Morales Vasquez Christian Junior

Expreso mi mas sincero agradecimiento a la Universidad Señor de Sipán y a todos los docentes por brindarnos una formación académica de calidad, a mi familia y compañeros por ser motivación para esforzarme y continuar camino al éxito profesional.

Suarez Chilon Pierina Antuane

INDICE

Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
RESUMEN	7
ABSTACT	7
1. INTRODUCCION	8
2. MATERIALES Y METODOS	9
3. RESULTADOS Y DISCUSION	9
4. CONCLUSIONES	12
REFERENCIAS	12

INDICE DE TABLAS

Tabla: Distribución de artículos según la base de datos y el año de su publicación	10
---	----

Application of recycled metal fibers in the production of concrete

Aplicación de las fibras metálicas recicladas en la elaboración de concreto

C. Morales^a, P. Suarez^b

Universidad Señor de Sipán. Campus Universitario Carretera a Pimentel km 5, (Chiclayo, Perú)

✉^a: mvasquezchristi@uss.edu.pe

✉^b: schilonantuanep@uss.edu.pe

RESUMEN: Los avances teóricos en la tecnología del concreto están impulsando la búsqueda de materiales alternativos que puedan mejorar las propiedades del concreto y, al mismo tiempo, contribuir a la reducción de la contaminación ambiental. Este artículo se enfoca en la revisión de investigaciones que se llevaron a cabo entre los años 2020 y 2024 y que se encuentran indexadas en la base de datos Scopus. Estas investigaciones tuvieron como objetivo principal analizar las propiedades del concreto cuando se le añaden inclusiones de fibras metálicas recicladas. Se examinan las diversas metodologías y técnicas utilizadas para procesar el material reciclado de manera que adquiera la forma y el tamaño necesarios, así como los resultados obtenidos al hacer la incorporación en el concreto. Finalmente, se debaten las recomendaciones para investigaciones futuras y se considera la aplicación de fibras metálicas recicladas en el ámbito del concreto.

PALABRAS CLAVE: Fibras Metálicas; Fibras Recicladas; Concreto; Propiedades Mecánicas.

ABSTRACT: Advances in concrete technology are driving the exploration of substitute materials that can enhance concrete properties while simultaneously contributing to the reduction of environmental pollution. This research focuses on the review of studies conducted between 2020 and 2024, which are registered in the Scopus database. The primary objective of these studies was to analyze the properties of concrete when incorporating recycled metallic fibers. Various methodologies and techniques used to process the recycled material to acquire the necessary structure are examined, along with the findings obtained when incorporating it into the concrete. Finally, guidelines for future research are discussed, considering the implementation of recycled metallic fibers in the field of concrete.

KEY WORDS: Metallic Fibers; Recycled Fibers; Concrete; Mechanical Properties.

ORCID ID: M. Christian (<https://orcid.org/0000-0001-8262-9774>) S. Pierina (<https://orcid.org/0000-0002-3531-9893>)

1. INTRODUCCION

Actualmente, el acelerado aumento de la demanda de hormigón y la falta de los recursos necesarios como arena y piedra, da como resultado una escasez de suministro y un aumento de los costos de estos recursos (Wang et al., 2021). Por ello, en el ámbito de construcción ha surgido una nueva ideología de utilización de alternativas más ecológicas y económicas (Esmailzade et al., 2022). La contaminación ha sido un desafío mundial, debido al aumento en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera y las emisiones resultantes de los desechos en los vertederos no gestionados (Gerges et al., 2022). Se conoce que hay una fabricación mundial de 2.400 millones de neumáticos al año, creciendo a un ritmo del 3,5% anual debido al aumento de demanda (Alsaif et al., 2022). Contribuir con la eliminación del fin de vida útil de los neumáticos, es un tema ambiental y de salud reconocido a nivel mundial según Polydorou et al (2022), siendo sus alambres una excelente alternativa como filamentos de acero industriales en la producción de hormigón reforzado. Por otro lado, la fabricación de hilos de acero en instalaciones industriales genera liberación de dióxido de carbono (CO₂), y, como resultado, puede contribuir al agravamiento del agotamiento de los recursos naturales. (Sahraei et al., 2021). La fragilidad del concreto convencional limita su capacidad para soportar las fuerzas que surgen debido a algunas actividades dinámicas en la estructura (Alsaif et al., 2022). El problema que siempre ha existido en la construcción de elementos de hormigón es la fragilidad y la falta de capacidad de carga después del agrietamiento, lo que conduce a una reducción de la resistencia y la absorción de energía (Ansari & Safiey, 2020). En los últimos años, se han realizado muchos estudios sobre la influencia de las fibras metálicas recicladas en el rendimiento mecánico del concreto (Anvari et al., 2021). Estos materiales podrían ser parcial o totalmente reemplazados por cemento y agregados (Ghalehnovi et al., 2021). En general, las fibras cortas distribuidas aleatoriamente desempeñan un papel de importancia al mejorar las características físicas y la resistencia a la degradación del concreto menciona Pajak & Wandzik (2021), también se conoce que las fibras unen los puntos débiles de la matriz y mejoran tanto la tenacidad a la flexión como la rigidez a la compresión (Augustino et al., 2022). Por medio de la capacidad de las fibras para unir grietas se mejoran las características de fractura y el comportamiento estructural (Saadoon et al., 2022). La investigación continua en este campo se centra en determinar los tipos de fibras más adecuadas para aplicaciones específicas y comprender mejor su comportamiento en diversas condiciones. En definitiva, el uso de fibras metálicas sigue siendo una estrategia importante en una amplia gama de aplicaciones (Vivek et al, 2023). Por ejemplo, la investigación de Pachideh & Toufigh (2022), sostiene que el concreto con fibras de acero al ser sometido a altas temperaturas presenta un límite de 500°C con una pérdida severa en sus propiedades mecánicas en el material de experimentación. Sin embargo, aún existe un vacío de conocimiento en cuanto al aislamiento térmico, integridad y estabilidad estructural (Simonetti et al., 2021). Las propiedades del hormigón investigadas incluyen trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la tracción directa, resistencia a la flexión y comportamiento tensión-deformación bajo compresión (Shehroze et al, 2020). Es importante mencionar que el empleo de fibras recicladas requiere cierta investigación y desarrollo para determinar las mezclas adecuadas y garantizar que se lleven a cabo con las condiciones necesarias para la ejecución específica. También, es esencial asegurarse de que las fibras recicladas estén limpias y libres de contaminación cuyo contacto con el hormigón pueda dañar su calidad (Esmailzade et al, 2022). El propósito de este artículo es revisar los estudios más actuales acerca de la utilización de fibras metálicas recicladas en la elaboración de hormigón. Asimismo, se examinan y se debaten los hallazgos de este análisis, ya que nos suministran nuevos entendimientos y datos acerca de las influencias de este material adicionado al concreto.

2. MATERIALES Y METODOS

El análisis sistemático se llevó a cabo utilizando 40 artículos registrados en la base de datos Science Direct, Scopus y otras. Se encontraron, , 4 artículos en el año 2020, 11 en el año 2021, 14 en el año 2022, 9 en el año 2023 y 2 artículos en el año 2024. Para la exploración y selección de los artículos se emplearon los siguientes términos clave: fibras metalicas; residuos de neumaticos, producción; concreto; propiedades mecánicas, Metallic fibers, tire residues; production; concrete; properties mechanical. En la tabla 1 se presenta una exposición más detallada de los estudios distribuidos de acuerdo con la base de datos y el año en que fueron publicados.

Tabla 1: Distribución de artículos según la base de datos y el año de su publicación.

B. de Datos	Año de publicación					Total
	2020	2021	2022	2023	2024	
Scopus	2	11	8	5	1	27
Science Direct	0	0	4	3	1	8
Otros	2	0	2	1	0	5
						40

Fuente: *Elaboración Propia.*

3. RESULTADOS Y DISCUSION

El reciclaje de metales ferrosos ha desarrollado un buen mercado en todo el mundo como el material más rentable y reciclable. Esto también se ve respaldado por las altas exigencias de los metales ferrosos. La forma más ideal de reciclar los materiales de residuos metálicos ferrosos es reutilizarlos directamente. (Lee et al, 2023) Se deben llevar a cabo análisis de granulometría a los materiales siguiendo las pautas de la norma NTP 400.012, evaluar el peso específico en estado suelto y compactado de acuerdo a la norma NTP 400.017, medir el contenido de humedad según lo establecido en el procedimiento ASTM D 2216-10, evaluar la capacidad de absorción de acuerdo a NTP 400.021 y NTP 400.022. La concepción de diseño de la mezcla se efectuará siguiendo el método ACI-Comité 211, con el objetivo de lograr una resistencia de $f'c= 210,00$ kg/cm². Los materiales seleccionados deberán ser mezclados durante un período de 90 a 120 segundos para garantizar una homogeneidad adecuada en la mezcla. (Farfan et al, 2022)

Trabajabilidad

La trabajabilidad se determina comúnmente mediante métodos de prueba tradicionales, que imitan una condición operativa típica y miden el valor de la distancia o el tiempo, es obvio que a medida que aumentan los niveles de reemplazo combinados de RCA y RFA, el flujo de asentamiento y el diámetro del flujo de asentamiento del anillo J disminuyen ligeramente. (Ji et al, 2023)

El procedimiento habitualmente utilizado para extraer fibras de acero recicladas de neumáticos de desecho dificulta mucho la obtención de geometrías regulares y libres de caucho. Se desenreda la fibra manualmente y luego se introduce en la mezcladora para evitar cúmulos de fibras de acero recicladas. A pesar de este procedimiento, la forma irregular y variada de las fibras recicladas provocó algunos pequeños cúmulos de fibras al moldear las muestras. Por otro lado, las fibras de acero industriales se mezclaban directamente en la empresa de concreto premezclado. (Carrillo &

Diaz, 2020) El diámetro y la longitud de las fibras de acero recicladas de neumáticos dependen del método de extracción. Para eliminar el exceso de caucho del material, se utilizó un potente imán para separar el acero de los gránulos de caucho con un diámetro menor que el no. 4 tamiz. Los resultados del análisis estadístico de la longitud promedio equivalente (l_f) se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Análisis estadístico de la Geometría de las fibras Recicladas

Parámetro Estadístico	l_f mm	d_f mm	l_f / d_f
G. Prom	31.1	0.23	144.3
CV, %	50.4	28.1	57
Mínimo	9.1	0.08	34.7
Máximo	110..5	0.38	529.3

Fuente: Carrillo & Diaz, 2020

Luego del triturado y colado el agregado reciclado presenta una gran cantidad de microfisuras internas, mientras que su superficie se envuelve con un mortero viejo, dando como resultado un RCA con alta porosidad, absorción de agua y baja resistencia. (Yuan et al, 2023)

La adición de FRM causó un asentamiento 14% menor que para la mezcla de control (mezcla C). La reducción del asentamiento debido a la adición de fibras era esperada y se atribuye a dos factores: (1) la presencia de fibras de acero aumenta la fricción interna entre los componentes del concreto; (2) las fibras de acero aumentan la superficie interna que será cubierta por la pasta de cemento (Alsaif et al, 2021). Cabe recalcar que en la investigación de Abdolpour, et al. (2023) proponen el uso de cenizas volantes, humo de sílice y superplastificante como aditivos para esta nueva elaboración de concreto porque obtiene beneficios en el efecto de rodamiento de bolas, es decir, mejoran la dispersión de las fibras de acero y como resultado obtiene una mayor capacidad autocompactante.

Resistencia a Esfuerzos de Compresión

La capacidad de soportar compresión refiere al límite de resistencia que el hormigón puede soportar cuando se somete a presión externa. Los investigadores Yao et al, (2022) concluyeron que el contenido de 0,5%, 1,0% y 1,5% de fibra de acero, respectivamente, podría mejorar la resistencia a la compresión del RAC en un promedio de 11,73%, 16,72% y 20,41%. Dado que las fibras de acero son menos propensas a la aglomeración, por lo que la resistencia a la compresión del hormigón aumenta con el volumen de las fibras de acero. Sin embargo, esto no significa que el contenido de fibras de acero pueda aumentarse todo el tiempo. Cuando el contenido de filamento de acero excede un rango específico, la resistencia a la compresión del concreto también disminuirá. Según la investigación de Shatarat et al, (2022) la resistencia a la compresión aumentó entre 1 y 10,5 % cuando se utilizó un contenido de Fibra de Basalto (BF) del 1 %. Además, la fuerza de unión experimental aumentó cuando aumentaron los contenidos de BF. El 1,5 % BF mostró el mayor aumento.

Comparativa entre Tipos de Fibra de Acero

Varios estudios han evaluado recientemente la utilización de fibras de acero de neumáticos de desecho (WTSF) para refuerzo de hormigón, en sustitución de las fibras de acero industriales (ISF). Según los estudios, el WTSF funcionó de manera más eficiente para restringir la propagación de micro fisuras a meso fisuras; sin embargo, las fibras de acero industriales funcionaron de manera más eficiente para mantener unidas las macro fisuras. También se

encontró que las mezclas de concreto probadas que utilizaron ambos tipos de refuerzo de fibra de acero superaron a las mezclas ISF y WTSF. (Alsaif & Alharbi, 2021)

Una de las ventajas de las fibras industriales es su gancho que posibilita una mejor sujeción entre el hormigón y la armadura. En el caso de las fibras recicladas este gancho no está presente, la forma no uniforme y variable de las fibras obstaculiza que tengan un buen entrelazado con el hormigón. Una posible solución para esto podría ser la mezcla híbrida de los dos tipos de fibras de acero para lograr un mejor rendimiento del hormigón. (Carrillo & Diaz, 2020)

Resistencia a Esfuerzos a la Flexión

Los resultados de Mona et al. (2024), revelaron que el espécimen reforzado con un 1,5% de fibras de acero mostró la mayor carga de rotura, superando a la viga de control en un impresionante 41,87% con respecto a las muestras simples; además, todas las muestras reforzadas con fibra mostraron una mayor resistencia a la flexión en comparación con las muestras simples.

Koroglu y Ashour afirmaron que las fibras de acero recicladas, que se añaden al hormigón autocompactante en proporciones del 4% y el 5%, aumentan 6 veces la capacidad de flexión de las vigas. Si bien el efecto del contenido de fibra en probetas con espaciamiento alto entre estribos (27 cm) proporciona un beneficio significativo en la mejora del comportamiento de la viga, el efecto de las fibras es más limitado a medida que el espaciamiento entre estribos disminuye (20 cm y 16 cm). (Yildizel et al, 2023)

La curva envolvente de la gráfica de esfuerzo-deformación cíclica para concreto de áridos reciclados (RCA) se parece mucho a la curva tensión-deformación monótona correspondiente. Las tasas de reemplazo de RCA y las combinaciones de fibras no afectan significativamente la deformación plástica ni el deterioro por tensión. (Feng et al, 2023)

Resistencia a la Tracción

En particular, el comportamiento a la tracción influye en el agrietamiento, la unión y la durabilidad de los elementos de hormigón. Además, la curva tensión-deformación es un reflejo macroscópico de la extensión y acumulación de daños de las micro fisuras internas durante el proceso de tracción del hormigón, y proporciona la relación constitutiva necesaria para un análisis completo de la mecánica elastoplástica, análisis de la tensión de la sección transversal en el último estado, análisis de mecanismos de daño y fractura, y evaluación del desempeño sísmico. (Zong et al, 2021)

Por otra parte, en la tabla 2 se muestra una síntesis de las características del hormigón, que surgieron de distintas pruebas realizadas en diversas variedades de vigas.

Durabilidad

Las fibras metálicas tienen un efecto inhibitorio sobre el desarrollo de grietas en el hormigón y mejoran la resistencia y ductilidad del hormigón. (Yuan et al, 2023) Respecto a la relación constitutiva de enlace y adherencia, el confinamiento lateral de los estribos en las muestras de unión mejoró efectivamente la rigidez de la unión e hizo que la distribución de la tensión de unión a lo largo de la longitud del anclaje fuera más uniforme. (Gao et al, 2022)

Las fibras agregadas a las muestras mitigan la degradación de la rigidez y mejoran la disipación de energía histerética. (Feng et al, 2023)

Cuando el hormigón se agrieta, la fibra que atraviesa la grieta se convierte en el principal portador de la fuerza externa. La fisura, la energía de deformación, el amortiguamiento viscoso histerético y la relación tensión-deformación del hormigón bajo cargas cíclicas tienen un impacto directo en la capacidad de carga, la ductilidad y las características de fuerza restauradora de la estructura del

hormigón, que es uno de los asuntos fundamentales en el estudio sísmica estructural. (Wang et al, 2022) En la actualidad, la fibra de acero puede suprimir significativamente la propagación de grietas macroscópicas y prevenir la falla frágil del concreto atribuida a su alto módulo de elasticidad y rigidez.

Finalmente, en la tabla 3 se presentan diversas combinaciones de hormigón con diferentes proporciones, identificadas mediante un código, que incluyen fibras recicladas y comerciales.

En el estudio de Xiangmiao et al. (2024), se evaluaron las propiedades de compresión del concreto reforzado con fibras de acero y residuos municipales tras la exposición a altas temperaturas. Los resultados mostraron que, a medida que la temperatura y la duración de la exposición aumentaban, la tasa de pérdida de masa se incrementaba progresivamente. Esto se debe a que la microestructura de la matriz del hormigón se deterioraba de manera continua por encima de los 500°C, lo que resultaba en una disminución de la resistencia a la compresión. La degradación de esta microestructura es la principal causa de la reducción en las propiedades mecánicas del hormigón.

4. CONCLUSIONES

En resumen, este estudio se centra en la revisión exhaustiva de las investigaciones más actuales relacionadas con la incorporación de fibras metálicas recicladas en la producción de concreto. Los resultados de esta revisión han proporcionado una valiosa aportación al campo, al ofrecer una comprensión más profunda de las influencias que este material adicional tiene en las propiedades del concreto. Estos hallazgos tienen un gran potencial para informar y enriquecer futuras prácticas en la industria de la construcción, promoviendo la sostenibilidad y el uso eficiente de recursos. El estudio ha demostrado de manera concluyente que el reciclaje de fibras metálicas presenta un mercado sólido a nivel global, destacándose como un material altamente rentable y reciclable. El reúso directo de estos materiales de desecho se presenta como la forma más idónea de aprovecharlos. Asimismo, se sugiere que una combinación de ambos tipos de fibras puede resultar en un mejor desempeño del concreto.

Asimismo, esta investigación ha demostrado que la adición de estas fibras mejora significativamente la resistencia del concreto a la tracción, flexión y compresión, lo cual es crucial para la durabilidad y el rendimiento estructural. Esto establece una base sólida para la implementación de fibras de acero recicladas en la construcción, promoviendo tanto la sostenibilidad como la eficiencia en el uso de recursos.

REFERENCIAS

- Abdolpour, H., Muthu, M., Niewiadomski, P., Sadowski, Ł., Hojdys, Ł., Krajewski, P., & Kwiecień, A. (2023). Performance and life cycle of ultra-high performance concrete mixes containing oil refinery waste catalyst and steel fibre recovered from scrap tyre. *Journal of Building Engineering*, 79(107890), 107890. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107890>
- Saadoon, A. M., Mashrei, M. A., & Al Oumari, K. A. (2022). Punching shear strength of recycled aggregate-steel fibrous concrete slabs with and without strengthening. *Advances in Structural Engineering*, 25(10), 2175–2190. <https://doi.org/10.1177/13694332221090288>
- Alsaif, A., Albidah, A., Abadel, A., Abbas, H., Almusallam, T., & Al-Salloum, Y. (2022). Behavior of ternary blended cementitious rubberized mixes reinforced with recycled tires steel fibers under different types of impact loads. *Structures*, 45, 2292–2305. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.10.049>

- Esmailzade, M., Eskandarinia, M., & Aslani, F. (2022). Effect of impurities of steel fibers extracted from shredded tires on the behavior of fiber-reinforced concrete. *Structures*, 45, 1175–1188. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.09.088>
- Yao, X., Pei, Z., Zheng, H., Guan, Q., Wang, F., Wang, S., & Ji, Y. (2022). Review of mechanical and temperature properties of fiber reinforced recycled aggregate concrete. *Buildings*, 12(8), 1224. <https://doi.org/10.3390/buildings12081224>
- Augustino, D. S., Kabubo, C., Kanali, C., & Onchiri, R. O. (2022). The orientation effect of opening and internal strengthening on shear performance of deep concrete beam using recycled tyre steel fibres. *Results in Engineering*, 15(100561), 100561. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100561>
- Vivek, S. S., Karthikeyan, B., Bahrami, A., Selvaraj, S. K., Rajasakthivel, R., & Azab, M. (2023). Impact and durability properties of alccofine-based hybrid fibre-reinforced self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 19(e02275), e02275. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02275>
- Pachideh, G., & Toufigh, V. (2022). Strength of SCLC recycled springs and fibers concrete subject to high temperatures. *Structural Concrete*, 23(1), 285–299. <https://doi.org/10.1002/suco.202100183>
- Simonetti, C., Tutikian, B. F., & da Silva Filho, L. C. P. (2021). Fire resistance of concrete panels made with recycled tire materials. *ACI Materials Journal*, 118(5), 173–184. <https://doi.org/10.14359/51732983>
- Sahraei Moghadam, A., Omidinasab, F., & Abdalikia, M. (2021). The effect of initial strength of concrete wastes on the fresh and hardened properties of recycled concrete reinforced with recycled steel fibers. *Construction and Building Materials*, 300(124284), 124284. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124284>
- Mona G., Taha E., Ahmed S., Nora K. (2024). Performance of RC Beams under Shear Loads Strengthened with Metallic and Non-Metallic Fibers . *Buildings*, Vol 14. Issue 6. Article number 1869. <https://doi.org/10.3390/buildings14061869>
- Polydorou, T., Kyriakides, N., Lampropoulos, A., Neocleous, K., Votsis, R., Tsioulou, O., Pilakoutas, K., & Hadjimitsis, D. G. (2022). Concrete with a high content of End-of-life tire materials for flexural strengthening of reinforced concrete structures. *Materials*, 15(17), 6150. <https://doi.org/10.3390/ma15176150>
- Alsaif, A., & Alharbi, Y. R. (2022). Strength, durability and shrinkage behaviours of steel fiber reinforced rubberized concrete. *Construction and Building Materials*, 345(128295), 128295. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128295>
- Wang, W., Wang, Y., Li, D., Liu, Y., & Li, Z. (2021). Bond-slip behavior between basalt fiber reinforced plastic bars and recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 302(124360), 124360. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124360>
- Gerges, N. N., Issa, C. A., Sleiman, E., Aintrazi, S., Saadeddine, J., Abboud, R., & Antoun, M. (2022). Eco-friendly optimum structural concrete mix design. *Sustainability*, 14(14), 8660. <https://doi.org/10.3390/su14148660>
- Pająk, M., & Wandzik, G. (2021). Laboratory tests of concrete beams reinforced with recycled steel fibres and steel bars. *Materials*, 14(22), 6752. <https://doi.org/10.3390/ma14226752>

Feng, J., Jia, X., Dong, X., Wang, P., Xu, B., & Wang, Z. (2023). Cyclic compressive behavior of hook-end steel and macro-polypropylene hybrid fiber reinforced recycled aggregate concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 19(e02310), e02310. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02310>

Ansari, & Safiey. (2020). Corrosion effects on mechanical behavior of steel fiber reinforced concrete, including fibers from recycled tires. *Computers & Concrete*, 26(4), 367–375. <https://doi.org/10.12989/cac.2020.26.4.367>

Anvari, A., Ghalehnovi, M., de Brito, J., & Karimipour, A. (2021). Improved bending behaviour of steel-fibre-reinforced recycled aggregate concrete beams with a concrete jacket. *Magazine of Concrete Research*, 73(12), 608–626. <https://doi.org/10.1680/jmacr.19.00146>

Li, L., Mai, G., He, S., Xiong, Z., Wei, W., Luo, H., & Liu, F. (2021). Experimental study on bond behaviour between recycled aggregate concrete and basalt fibre-reinforced polymer bars under different strain rates. *Construction and Building Materials*, 290(123218), 123218. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123218>

Ghalehnovi, M., Karimipour, A., Anvari, A., & de Brito, J. (2021). Flexural strength enhancement of recycled aggregate concrete beams with steel fibre-reinforced concrete jacket. *Engineering Structures*, 240(112325), 112325. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112325>

Xia, Z.B., Duan, X.F., Analysis of the bond-slip performance of steel bars and steel fiber recycled concrete based on the constitutive relationship model, *Frattura ed Integrità Strutturale*, 59 (2022) 49-61. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.59.04>

Gao, Y., Wang, B., Liu, C., Hui, D., Xu, Q., Zhao, Q., Qin, Y., & Dong, W. (2022). Experimental investigation on static compressive toughness of steel fiber rubber concrete. *Reviews on Advanced Materials Science*, 61(1), 576–586. <https://doi.org/10.1515/rams-2022-0260>

Simalti, A., & Singh, A. P. (2021). Fresh and mechanical properties of recycled steel fiber reinforced self-consolidating concrete. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (pp. 271–279). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51354-2_24

Alsaif, A., & Alharbi, Y. R. (2022). Strength, durability and shrinkage behaviours of steel fiber reinforced rubberized concrete. *Construction and Building Materials*, 345(128295), 128295. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128295>

Zong, S., Liu, Z., Li, S., Lu, Y., & Zheng, A. (2021). Stress-strain behaviour of steel-fibre-reinforced recycled aggregate concrete under axial tension. *Journal of Cleaner Production*, 278(123248), 123248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123248>

Carrillo J. & Diaz C. (2023) Vista de Propiedades mecánicas de las losas de concreto reforzadas con fibras de acero recicladas provenientes de llantas usadas en Bogotá, Colombia. Edu.co. Retrieved October 31, 2023, from <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/4412/4475>

Jiang, Y., Yan, Y., Li, T., Cao, X., Yu, L., & Qi, H. (2023). Comparison of the mechanical properties and crack expansion mechanism of different content and shapes of brass-coated steel fiber-reinforced ultra-high-performance concrete. *Materials*, 16(6), 2257. <https://doi.org/10.3390/ma16062257>

Jorge A. Nunton, Jean Pool Portocarrero, Sócrates P. Muñoz. (2022) Vista de Una revisión del comportamiento mecánico del concreto con adición de fibras de acero de neumáticos reciclados. Edu.co. Retrieved October 31, 2023, from

https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/11741/14969

Ji, D., Wu, Z., Gao, D., Gu, Z., & Fang, D. (2023). Analysis on rheological and workability properties of steel-polypropylene fibers reinforced self-compacting concrete with recycled coarse and fine aggregates. *Journal of Building Engineering*, 79(107931), 107931.

<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107931>

Xiangmiao, W., Yan T. & Xiong, L. (2024). Effects of Incorporating Steel Fibers and Municipal Waste on the Compressive Strength of Concrete. *SDHM Structural Durability and Health Monitoring*, Vol 18. Issue 4. <https://doi.org/10.32604/sdhm.2024.0493635>

Sryh, L., & Forth, J. (2023). Long-term loss of tension stiffening of concrete containing recycled aggregate and steel fibres. *Structures*, 54, 1312–1319.

<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.05.145>

Yıldız, S. A., Özkılıç, Y. O., Bahrami, A., Aksoylu, C., Başaran, B., Hakamy, A., & Arslan, M. H. (2023). Experimental investigation and analytical prediction of flexural behaviour of reinforced concrete beams with steel fibres extracted from waste tyres. *Case Studies in Construction Materials*, 19(e02227), e02227. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02227>

Yuan, H., Zhu, L., Zhang, M., & Wang, X. (2023). Mechanical behavior and environmental assessment of steel-bars truss slab using steel fiber-reinforced recycled concrete. *Journal of Building Engineering*, 69(106252), 106252. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106252>

Wang, C., Wu, H., & Li, C. (2022). Hysteresis and damping properties of steel and polypropylene fiber reinforced recycled aggregate concrete under uniaxial low-cycle loadings. *Construction and Building Materials*, 319(126191), 126191.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126191>

Ali, S., Neaz Sheikh, M., Sargeant, M., & Hadi, M. N. S. (2020). Influence of polypropylene and glass fibers on alkali- activated slag/fly ash concrete. *ACI Structural Journal*, 117(4), 183–192. <https://doi.org/10.14359/51723509>

Lee, J. C., Thedy, W. H., Ng, J. L., & Lee, S. (2023). Recycled waste of construction industry in Malaysia: A review. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 1205(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1205/1/012030>

Gao, D., Yan, H., Yang, L., Pang, Y., & Sun, B. (2022). Analysis of bond performance of steel bar in steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete with partially recycled coarse aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 370(133528), 133528.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133528>

Shatarat, N., Katkhuda, H., Ayyoub, M., Al-Hunaiti, Y., & Abdel Jaber, M. S. (2022). Improving bond strength of recycled coarse aggregate concrete using chopped basalt fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 17(e01449), e01449.

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01449>