DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI

ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 14 No. Especial 3 (2026) 407-417

Desempeño mecánico del concreto con fibras de acero, polipropileno, vidrio o basalto: integración documental y análisis comparativo
Mechanical performance of concrete with steel, polypropylene, glass, or basalt fibers: documentary integration and comparative analysis

R. Mendoza-Hernández [a], V. Volpi-León [a,*], A.D. Juárez-Sedano [a]

[a] *Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.*

Resumen

El concreto reforzado con fibras constituye una alternativa para mejorar la baja resistencia a la tracción y la fragilidad del concreto convencional. Mediante una revisión sistemática de artículos indexados, publicados entre 2015 y 2026, se analizó y comparó el efecto de fibras de acero, polipropileno, vidrio y basalto sobre las propiedades mecánicas de compresión, tracción indirecta y flexión en el concreto mediante ensayos normalizados. Los resultados muestran incrementos de 0–15 % en resistencias a la compresión, 5–30 % en tracción indirecta y 8–35 % en flexión, dependiendo del tipo de fibra y de las condiciones experimentales. Las fibras de acero presentaron el mejor comportamiento en resistencia residual y posfisuración; el polipropileno destacó en el control de la fisuración temprana; el vidrio mostró mejoras en tracción y flexión, mientras que el basalto presentó un comportamiento equilibrado. La sistematización de la evidencia permitió establecer criterios para seleccionar el tipo de fibra según la propiedad mecánica requerida.

Palabras clave: *concreto reforzado con fibras, fibras de acero, fibras de polipropileno, fibras de vidrio, fibras de basalto, comportamiento mecánico*.

Abstract

Fiber-reinforced concrete is an alternative to improve the low tensile strength and brittleness of conventional concrete. Through a systematic review of indexed articles published between 2015 and 2026, the effect of steel, polypropylene, glass, and basalt fibers on the mechanical properties of compression, indirect tension, and flexion in concrete was analyzed and compared using standardized tests. The results show increases of 0–15% in compressive strength, 5–30% in indirect tension, and 8–35% in flexion, depending on the type of fiber and experimental conditions. Steel fibers demonstrated the best performance in residual strength and post-cracking behavior; polypropylene stood out in controlling early cracking; glass showed improvements in tension and flexion, while basalt exhibited a balanced behavior. The systematic review of the evidence allowed for establishing criteria to select the type of fiber based on the required mechanical property.

Keywords: *Fiber-reinforced concrete, steel fiber, polypropylene fiber, glass fiber, basalt fiber, mechanical behavior*.

1. Introducción

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo, debido a su alta resistencia a la compresión, durabilidad y versatilidad en diversas aplicaciones: cimentaciones, pavimentos, edificaciones y obras de infraestructura (fib, 2023). Actualmente, en México, se estima que más del 70% de las estructuras construidas emplean el concreto como material principal (INEGI, 2022).

No obstante, presenta una resistencia a la tracción limitada, lo que favorece la aparición y propagación de grietas que pueden afectar el desempeño mecánico y la vida útil de las estructuras (ACI Committee 544, 2017).

Con el propósito de mejorar el comportamiento mecánico del concreto, diversos estudios han incorporado fibras de refuerzo metálicas, poliméricas y minerales, entre las que destacan las de acero, polipropileno, vidrio y basalto. Estos materiales contribuyen a controlar la propagación de grietas y

*Autor para la correspondencia: volpi@uaeh.edu.mx
Correo electrónico: me407577@uaeh.edu.mx (Ramiro Mendoza-Hernández), volpi@uaeh.edu.mx (Valeria Volpi-León), ajuarez@uaeh.edu.mx (Alma Delia Juárez-Sedano)

Historial del manuscrito: recibido el 12/06/2026, última versión-revisada recibida el 10/09/2026, aceptado el 11/09/2026, publicado el 06/11/2026. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial3.18148

a mejorar, en diferentes medidas, la resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión del concreto (Córdova, 2019; Ahmad et al., 2022).

Aunque las fibras de refuerzo han sido ampliamente investigadas y aplicadas en elementos estructurales, pavimentos y prefabricados, la literatura reporta resultados variables en cuanto a la magnitud de las mejoras mecánicas obtenidas (Ahmad et al., 2022).

Sin embargo, la mayoría de las investigaciones analizan un solo tipo de fibra en condiciones experimentales específicas, lo que dificulta establecer comparaciones objetivas entre los distintos sistemas de refuerzo (ElHamahmy, 2025). Además, las revisiones disponibles suelen presentar los resultados de manera independiente, sin integrar cuantitativamente las principales propiedades mecánicas ni considerar conjuntamente variables como la dosificación, la geometría de las fibras, el tipo de concreto, las condiciones de curado y las normas de ensayo (Zheng et al., 2023). Esta situación dificulta identificar con claridad qué tipo de fibra ofrece el mejor desempeño en cada una de las propiedades mecánicas.

En la práctica de la ingeniería civil, la adopción de materiales sin información confiable puede acarrear consecuencias negativas, como fisuración prematura y fallas estructurales. Por ello, es necesario recopilar evidencia experimental para comparar objetivamente el comportamiento mecánico del concreto reforzado con diferentes fibras a fin de determinar cuál ofrece el mejor rendimiento para el sistema de refuerzo requerido.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar comparativamente el efecto de las fibras de acero, polipropileno, vidrio y basalto sobre el desempeño mecánico del concreto —específicamente en la resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión— mediante un análisis documental de la literatura científica y de las normativas técnicas vigentes. Se examina la influencia de variables clave como la dosificación, el tipo de concreto, las condiciones de curado y las normas de ensayo empleadas, con el fin de establecer criterios generales para la selección de estos refuerzos según sus aplicaciones en la ingeniería civil.

La relevancia del estudio radica en la síntesis de información técnica confiable sobre el comportamiento del concreto reforzado con diferentes fibras, que sirva de referencia para ingenieros y proyectistas al seleccionar el tipo de fibra según la aplicación requerida, las condiciones de exposición y el desempeño estructural esperado.

El artículo se organiza a partir de aquí, en cinco secciones: en el Marco Teórico se abordan los fundamentos conceptuales y mecánicos del concreto reforzado con fibras; el Estado del Arte presenta estudios recientes y su análisis comparativo; en la Metodología se describe el procedimiento de la revisión sistemática; los Resultados y Discusión sintetizan y comparan los hallazgos experimentales; finalmente, las Conclusiones destacan las aportaciones y áreas de oportunidad para futuras investigaciones.

2. Marco teórico

El concreto ha sido históricamente el material estructural más importante en la ingeniería civil, empleado en la construcción de puentes, carreteras, cimentaciones, presas y edificaciones (Kim et al., 2019). Su predominio se debe a su alta resistencia a la compresión, su durabilidad y versatilidad de aplicación, así como a la disponibilidad de sus componentes básicos: cemento, agregados pétreos y agua. Sin embargo, presenta limitaciones inherentes que afectan su desempeño mecánico, principalmente su baja resistencia a la tracción, la aparición y propagación de grietas y su limitada capacidad de deformación antes de la falla. Estas características han motivado el desarrollo de materiales y técnicas de refuerzo que permitan mejorar su desempeño estructural, especialmente bajo esfuerzos de tracción y flexión (fib, 2023; ACI Committee 544, 2017).

El empleo de fibras de refuerzo en mezclas cementicias surgió como una alternativa para superar estas limitaciones. El concepto de concreto reforzado con fibras (Fiber Reinforced Concrete, FRC, por sus siglas en inglés) se desarrolló a partir de la década de 1960, con los trabajos pioneros de Romualdi y Batson (1963), quienes demostraron que la incorporación de fibras cortas y distribuidas aleatoriamente podía controlar la propagación de grietas y mejorar el comportamiento del concreto después de la fisuración. Posteriormente, Naaman (1985) formuló la teoría del refuerzo aleatorio, que explica cómo las fibras actúan como microrefuerzos tridimensionales capaces de redistribuir esfuerzos en la matriz cementicia, retrasando la formación de grietas críticas y aumentando la capacidad resistente del material. Esta teoría se complementa con los estudios de Bazant (1984), quien estableció los fundamentos de la mecánica de fractura aplicados al concreto, describiendo los mecanismos de propagación de fisuras y la influencia del refuerzo en la absorción de energía y la tenacidad del material.

En las últimas décadas, la Fédération Internationale du Béton (FIB) ha desarrollado documentos técnicos que constituyen una referencia internacional para el diseño, análisis y evaluación de estructuras de concreto. Entre ellos destaca el fib Model Code for Concrete Structures 2020, considerado un documento prenormativo que integra el conocimiento científico y experimental más reciente sobre el comportamiento del concreto simple, reforzado y reforzado con fibras (fib, 2023). En relación con el concreto reforzado con fibras, el Model Code 2020 establece que la contribución del refuerzo depende de variables como el tipo de fibra, la dosificación, la orientación, la longitud, la relación de aspecto, el módulo elástico y la adherencia entre la fibra y la matriz cementicia (ver Tabla 1). Estos parámetros influyen directamente en la resistencia residual, la capacidad de absorber energía, la ductilidad y el comportamiento posterior a la fisuración, propiedades fundamentales para evaluar el desempeño mecánico del material (fib, 2023). En la presente investigación, el fib Model Code 2020 constituye el principal fundamento teórico para interpretar las diferencias observadas entre los estudios analizados, ya que proporciona los criterios que explican cómo las características físicas y mecánicas de las fibras modifican la respuesta del concreto bajo esfuerzos de compresión, tracción y flexión.

Tabla 1. Variables que influyen en el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras

Variable	Influencia en el comportamiento mecánico
Longitud	Determina la capacidad de anclaje de la fibra dentro de la matriz cementicia y favorece el puenteo de grietas.
Relación de aspecto (L/d)	Controla la eficiencia en la transferencia de esfuerzos entre la fibra y el concreto; valores mayores incrementan la resistencia residual y la tenacidad.
Módulo elástico	Influye en la rigidez del refuerzo y en la capacidad de limitar deformaciones. Fibras con mayor módulo, como las de acero, presentan una respuesta más eficiente bajo carga.
Geometría	La forma de la fibra (recta, corrugada, con extremos conformados, etc.) modifica la adherencia con la matriz y el mecanismo de anclaje.
Porcentaje volumétrico	La dosificación controla la cantidad de fibras incorporadas a la mezcla. Existe un intervalo óptimo, ya que contenidos elevados pueden disminuir la trabajabilidad sin generar incrementos proporcionales en la resistencia.

Fuente: Adaptado de (fib, 2023); (ACI Committee 544, 2017) y (Oettel et al., 2022).

Los tipos de fibras más utilizados en el concreto reforzado con fibras son las metálicas (acero), poliméricas (polipropileno) y minerales (vidrio y basalto). Cada una presenta características físicas y mecánicas particulares que modifican de manera distinta el comportamiento del concreto (Idrees, 2020). Las fibras de acero destacan por su elevado módulo elástico y su capacidad para incrementar la resistencia residual y el comportamiento posfisuración; las fibras de polipropileno contribuyen principalmente al control de la fisuración temprana; mientras que las fibras de vidrio y basalto han demostrado mejoras en la resistencia a tracción y flexión bajo determinadas condiciones experimentales (Ahmad et al., 2022; Al-Rousan et al., 2023; Bartos, 2017; Köroğlu et al., 2016).

El concreto reforzado con fibras (Fiber Reinforced Concrete, FRC) se define como un material compuesto constituido por una matriz cementicia en la que se incorporan fibras discretas, distribuidas aleatoriamente, con el propósito de modificar su comportamiento mecánico tanto antes como después de la fisuración (ACI Committee 544, 2017; Oettel et al., 2022). La eficacia del refuerzo depende de la interacción entre las propiedades físicas y mecánicas de las fibras y la matriz cementicia, por lo que variables como la dosificación, la geometría, la longitud, la relación de aspecto y el módulo elástico influyen directamente en la capacidad del concreto para controlar la propagación de grietas, redistribuir esfuerzos y mejorar la resistencia residual (fib, 2023).

El comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras se evalúa mediante procedimientos de ensayo estandarizados que permiten determinar la influencia del refuerzo sobre las principales propiedades resistentes del material. La ASTM C39 se emplea para evaluar la resistencia a la compresión; la ASTM C496, para determinar la resistencia a la tracción indirecta mediante el ensayo brasileño; mientras que la ASTM C1609 y la EN 14651 se utilizan para evaluar la resistencia a la flexión, la resistencia residual y el comportamiento posterior a la fisuración (ASTM International, 2023; Oettel et al., 2022). La aplicación de estas normas permite comparar objetivamente los resultados obtenidos en diferentes investigaciones y constituye uno de los principales criterios considerados en el presente estudio para analizar el desempeño mecánico del concreto reforzado con fibras.

Entre los principales parámetros utilizados para evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras destacan la tenacidad, entendida como la capacidad del material para absorber energía antes de la fractura; la resistencia residual, que representa la capacidad del concreto para seguir soportando esfuerzos después de la aparición de grietas; y la trabajabilidad, definida como la facilidad con la que la mezcla puede colocarse y compactarse sin afectar su homogeneidad (ACI Committee 544, 2017). Estos conceptos permiten interpretar el efecto del refuerzo sobre el desempeño mecánico del concreto en diferentes condiciones de carga.

El estudio teórico sobre el concreto reforzado con fibras evidencia que, aunque existen avances significativos en la comprensión de su comportamiento mecánico y estructural, persisten vacíos en la integración del conocimiento. Los modelos clásicos de Romualdi y Batson (1963), Naaman (1985) y Bazant (1984) han permitido comprender los mecanismos de refuerzo y de absorción de energía, mientras que desarrollos más recientes, como el CEB-FIP Model Code (2020) y las normas ASTM y EN, han estandarizado los procedimientos de ensayo. No obstante, la información sigue fragmentada con resultados dispersos y sin criterios unificados para determinar qué tipo de fibra resulta más eficiente según la aplicación o el ambiente de exposición.

El análisis de las bases teóricas demuestra que la incorporación de fibras modifica el comportamiento mecánico del concreto mediante mecanismos de puenteo de grietas, redistribución de esfuerzos y aumento de la resistencia residual. No obstante, la magnitud de estas mejoras depende de múltiples variables, entre ellas el tipo de fibra, la densidad, la resistencia a la tensión, la longitud, la relación de aspecto, el módulo elástico, la geometría, el porcentaje volumétrico y las condiciones de ensayo empleadas (ver Tabla 2). En consecuencia, la comparación entre investigaciones requiere considerar simultáneamente estos factores para interpretar adecuadamente las diferencias reportadas en la literatura. Bajo este enfoque, el presente estudio utiliza estos criterios como base para analizar comparativamente el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de acero, polipropileno, vidrio y basalto.

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas de fibras de refuerzo en el concreto

Propiedad	Acero	Polipropileno	Vidrio (AR)	Basalto
Densidad (g/cm³)	7.8	0.91	2.60	2.70
Resistencia a tensión (MPa)	1000–2500	300–700	1000–1700	1100–3000
Módulo elástico (GPa)	200	3–10	70–80	85–95

Propiedad	Acero	Polipropileno	Vidrio (AR)	Basalto
Longitud típica (mm)	30–60	6–40	12–36	12–36
Relación de aspecto (L/d)	45–100	100–300	400–900	400–1000
Dosificación habitual	20–60 kg/m³	0.3–0.9 kg/m³	0.5–1.5 % vol	0.3–1.0 % vol

Fuente: Adaptado de (fib, 2023); (ACI Committee 544, 2017); (Ahmad et al., 2022); (Oettel et al., 2022); (Elshazli et al., 2022); (Gomaa et al., 2025); (Pham, 2025).

3. Estado del Arte

Durante la última década, el concreto reforzado con fibras (Fiber Reinforced Concrete, FRC) ha sido objeto de numerosas investigaciones orientadas a mejorar su desempeño mecánico mediante la incorporación de fibras metálicas y no metálicas. La mayor parte de estos estudios se ha centrado en evaluar el efecto de las fibras sobre la resistencia a la compresión, tracción y flexión debido a que estas propiedades determinan el comportamiento estructural del concreto frente a diferentes condiciones de carga (fib, 2023; ACI Committee 544, 2017; Choumanidis et al., 2016).

Sin embargo, los resultados reportados en la literatura muestran una variabilidad considerable, atribuida principalmente a diferencias en la dosificación de las fibras, el tipo de concreto, las condiciones de curado y las normas empleadas para la evaluación mecánica. Además, la mayoría de las investigaciones analizan un solo tipo de fibra en condiciones experimentales específicas, lo que dificulta establecer comparaciones objetivas entre los diferentes sistemas de refuerzo e identificar las variables responsables de las diferencias observadas en su desempeño mecánico (Marcalikova et al., 2020). En este contexto, este trabajo identifica las variables experimentales que explican dichas diferencias y establece criterios técnicos para su selección.

Zheng, et al., (2024) presentan una revisión sobre propiedades mecánicas de concreto reforzado con fibras de acero, señalando que estas fibras mejoran significativamente la resistencia residual, la capacidad posfisuración y el comportamiento frente a cargas repetidas. En la investigación de Xu et al. (2025), se compararon fibras de acero y de basalto en mezclas con agregado de roca residual y se encontró que la fibra de acero incrementó la resistencia a la tracción (22.2 %) y a la flexión (27.4 %). Aunque ambos estudios coinciden en que las fibras de acero mejoran el comportamiento mecánico del concreto, los resultados no son directamente comparables debido a diferencias en el tipo de concreto, la dosificación de las fibras y el diseño experimental empleado. Mientras Zheng et al. (2023) integran resultados provenientes de múltiples investigaciones, Xu et al. (2025) realizan una comparación experimental en condiciones controladas, lo que permite identificar con mayor precisión el efecto de la fibra sobre las propiedades mecánicas. Estas diferencias metodológicas explican parte de la variabilidad observada en la literatura y justifican la necesidad de realizar análisis comparativos entre investigaciones.

Las fibras de polipropileno han sido ampliamente investigadas por su eficacia en el control de la fisuración plástica y de la retracción, más que por su efecto en el aumento de la carga última del concreto (Ahmad et al., 2022). En el estudio del efecto combinado de basalto y polipropileno (PP), Wang et al. (2021) observaron que las macrofibras del PP incrementan la energía de impacto y mejoran el comportamiento posfisura cuando se combinan con otras fibras. Aunque no todas las investigaciones cuantifican mejoras significativas en términos de resistencia a compresión, los resultados muestran un efecto favorable en el comportamiento a tracción y en el control del desarrollo de grietas (Acosta-Calderón et al., 2022). El desempeño del polipropileno depende principalmente de la dosificación empleada y del objetivo del refuerzo. Mientras algunos estudios priorizan el incremento de las propiedades mecánicas, otros evalúan su capacidad para controlar la fisuración, lo que explica la variabilidad de los resultados.

Las fibras de vidrio constituyen una alternativa para mejorar principalmente la resistencia a la tracción y a la flexión del concreto; sin embargo, su desempeño depende de la compatibilidad química con la matriz cementicia y del tratamiento superficial de las fibras (sizing). Los fenómenos de degradación química limitan su aplicabilidad en ambientes agresivos si no se abordan adecuadamente. Revisiones recientes de Ahmad et al. (2022) reportan mejoras en las propiedades mecánicas, aunque con diferencias importantes entre las investigaciones debidas al tipo de fibra empleada, su dosificación y las consideraciones experimentales.

Entre las fibras minerales, las de basalto (BF) han captado una atención creciente por su estabilidad física y su resistencia química y mecánica. Al-Kharabsheh et al., (2023) llevaron a cabo una revisión exhaustiva sobre el concreto reforzado con fibras de basalto y concluyeron que estas fibras mejoran diversas propiedades mecánicas del material, aunque los resultados experimentales continúan siendo heterogéneos. Asimismo, Vatin et al. (2024) reportaron que contenidos entre 0.1 % y 0.3 % permiten alcanzar un equilibrio favorable entre la resistencia mecánica y la trabajabilidad. Estas evidencias coinciden en que las fibras de basalto mejoran el comportamiento mecánico del concreto; aunque la magnitud de dichas mejoras depende del porcentaje volumétrico incorporado, del tipo de concreto y de las condiciones de ensayo empleadas. Lo que enfatiza la necesidad de estandarizar las pruebas y los criterios de diseño.

Los resultados de la literatura analizada evidencian que las diferencias en el desempeño mecánico del concreto reforzado con fibras dependen de diversas variables experimentales, entre las que destacan:

La dosificación afecta significativamente el comportamiento del concreto reforzado, ya que, aunque cada fibra tiene un intervalo óptimo, los aumentos excesivos pueden disminuir la trabajabilidad, favorecer la formación de conglomerados y reducir la eficiencia del refuerzo (Fib, 2023; Ahmad et al., 2022; Jiang et al., 2024). Las investigaciones reportan que las fibras de acero suelen emplearse en contenidos superiores a los utilizados para fibras sintéticas, mientras que las fibras de polipropileno requieren menores dosificaciones debido a su baja densidad y elevada cantidad de fibras por

unidad de volumen. Las fibras de vidrio y basalto presentan valores intermedios, dependiendo de sus características geométricas y de la aplicación estructural considerada (Xu et al., 2025; Vatin et al., 2024; Alwesabi et al., 2023).

Diversos estudios coinciden en que la longitud y la relación de aspecto modifican la capacidad de anclaje entre la fibra y la matriz cementicia, influyendo directamente en el mecanismo de puenteo de grietas y en la redistribución de esfuerzos después del agrietamiento (fib, 2023; Oettel et al., 2022).
Las fibras de acero generalmente presentan relaciones de aspecto superiores, lo que favorece el desarrollo de la resistencia residual y del comportamiento posfisuración. En contraste, las fibras de polipropileno suelen emplearse en dimensiones más pequeñas para controlar la formación temprana de microfisuras. Las fibras de vidrio y de basalto muestran un comportamiento intermedio, cuya eficiencia depende de mantener una relación adecuada entre longitud, diámetro y distribución dentro de la mezcla (Branston et al., 2016; Ahmad et al., 2022; Vatin et al., 2024).

Los tipos de concreto: convencionales, de alta resistencia, de alto desempeño, autocompactantes e incluso mezclas elaboradas con agregados reciclados modifican la adherencia entre la fibra y la matriz cementicia y, por consiguiente, la magnitud de las mejoras observadas en las propiedades mecánicas (Xu et al., 2025; Manso-Morato et al., 2024; Jiang et al., 2024).

Las condiciones de curado y la evaluación mecánica constituyen otra fuente de variabilidad. Aunque la mayoría de los estudios realizan los ensayos mecánicos a los 28 días, existen diferencias en los métodos de preparación de las probetas, los procedimientos de curado y las normas utilizadas para evaluar la resistencia del concreto reforzado con fibras (fib, 2023; Oettel et al., 2022).

En cuanto a las normas de ensayo, predominan las siguientes: ASTM C39 para la resistencia a la compresión, ASTM C496 para la resistencia a la tracción indirecta y ASTM C1609 para la resistencia a la flexión. Sin embargo, algunos autores incorporan metodologías adicionales, como la EN 14651, para evaluar la resistencia residual y el comportamiento posterior a la fisuración (Oettel et al., 2022; fib, 2023).

Esta necesidad de integración constituye la base metodológica del análisis comparativo desarrollado en este trabajo, en el que se sintetiza cuantitativamente la evidencia obtenida a partir de las investigaciones seleccionadas.

4. Metodología

El enfoque de la investigación es documental y mixto (cualitativo–cuantitativo), orientado a la descripción, comparación y análisis de los resultados de investigaciones previas. Este estudio se desarrolla mediante una metodología de cuatro pasos. Primero se utilizó el marco PICOC *(Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context)* (Kitchenham, & Charters, 2007). Para determinar el objeto de estudio y sus características. Posteriormente, se aplicaron los lineamientos pertinentes del protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) (Moher et al., 2015) para definir los criterios de elegibilidad en el proceso de selección de la bibliografía. La información obtenida se clasificó, analizó y comparó en función de sus resultados, y se formularon conclusiones.

Siguiendo el marco PICOC, la Población corresponde al concreto; la Intervención se define como la incorporación de las distintas fibras de refuerzo (acero, polipropileno, vidrio y basalto); el Comparador considera el concreto convencional sin adición de fibras y los sistemas con fibras diferentes con el objetivo de analizar y comparar el efecto de las fibras de acero, polipropileno, vidrio y basalto en el concreto bajo pruebas normalizadas de compresión, flexión y tracción. Los Resultados (Outcomes) describen las propiedades y el desempeño mecánico del concreto; finalmente, el Contexto se limita a investigaciones de carácter experimental desarrolladas a nivel de laboratorio bajo normativa técnica estandarizada.

Una vez determinadas las características del objeto de estudio, se procedió a aplicar los lineamientos de PRISMA para integrar la documentación científica; en la Tabla 3 se muestra su secuencia.

Tabla 3. Proceso PRISMA

Elemento PRISMA	Descripción
Fuentes de información	Lista de bases de datos y fecha exacta de la búsqueda.
Estrategia de búsqueda	Cadenas de búsqueda (search strings).
Criterios de elegibilidad	Información explícita de inclusión/exclusión según marco PICOC.
Proceso de selección	Descripción de la elección de referencias que cumplieron los criterios descritos y la exclusión de duplicados.
Extracción de datos	Variables cuantitativas extraídas de cada estudio.

Fuente: Elaboración propia

4.1 Fuentes de información

Se utilizó la base de datos web of science que incluye artículos científicos indexados en los índices JCR y SCOPUSpara garantizar la calidad de los trabajos analizados y su alcance internacional. Para acceder a los artículos y descargarlos, se utilizó el acceso institucional a ScienceDirect y SpringerLink; para complementar las descargas, se apoyó en la búsqueda en editoriales como IOP y MDPI, que permiten el acceso abierto a diversos trabajos, y en herramientas de búsqueda como Google Scholar y ResearchGate.

4.2 Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de información y la delimitación del alcance del trabajo, se consideraron palabras clave como: “steel fiber concrete”, “polypropylene fiber”, “glass fiber”, “basalt fiber”, combinadas con “compressive strength”, “flexural behavior”, “tensile”. En la Tabla 4 se ejemplifican las cadenas de búsqueda con sus conectores booleanos para su búsqueda en web of science, en el apartado “advanced search”.

Tabla 4. Cadenas de búsqueda

Cadena de búsqueda	Artículos encontrados
TI=("steel fiber" AND "reinforced concrete" AND "compressive strength")	21

TI=("steel fiber" AND "reinforced concrete" AND "flexural behavior")	17
TI=("steel fiber" AND "reinforced concrete" AND "tensile")	57
TI=("polypropylene fiber" AND "reinforced concrete" AND "tensile")	10
TI=("polypropylene fiber" AND "reinforced concrete" AND "compressive strength")	1
TI=(" polypropylene fiber" AND "reinforced concrete" AND "flexural behavior")	20
TI=(glass fiber" AND "reinforced concrete" AND "compressive strength")	5
TI=("glass fiber" AND "reinforced concrete" AND "flexural behavior")	4
TI=("glass fiber" AND "reinforced concrete" AND "tensile")	2
TI=("basalt fiber" AND "reinforced concrete" AND "compressive strength")	3
TI=("basalt fiber" AND "reinforced concrete" AND "flexural behavior")	12
TI=("basalt fiber" AND "reinforced concrete" AND "tensile")	9

Fuente: Elaboración propia

4.3 Criterios de elegibilidad

Para los criterios de inclusión, se consideraron artículos con resultados cuantitativos de concreto reforzado con fibras, probados conforme a las normas ASTM, ACI y EN 14651 y con datos verificables. Se excluyeron artículos en los que las fibras se aplicaron a materiales distintos del concreto (morteros, polímeros o compuestos especiales), investigaciones centradas en ensayos no pertinentes a la resistencia mecánica (compresión, tracción, flexión). Para la búsqueda sistemática se aplicaron filtros de temporalidad en el período 2015–2026.

4.4 Proceso de selección

De un total aproximado de 200 artículos, se seleccionaron 70. Los artículos analizados evaluaron el comportamiento del FRC mediante ensayos normalizados de compresión (ASTM C39), tracción indirecta (ASTM C496) y flexión (ASTM C1609 y EN 14651), lo que permitió establecer comparaciones precisas entre los distintos tipos de fibras: acero, polipropileno, vidrio y basalto. Para organizar, clasificar y codificar las referencias, se utilizaron los gestores bibliográficos Mendeley y Zotero.

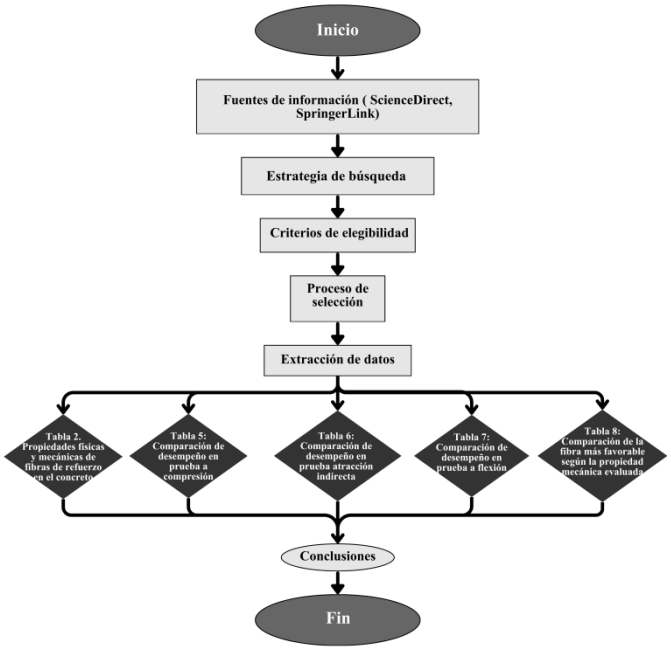
4.5 Extracción de datos

Las variables independientes son los tipos de fibra empleados en la fabricación de concreto (acero, polipropileno, vidrio y basalto), la geometría y el aspecto de la fibra, el porcentaje de adición (% del peso del cemento), la edad de curado y el tipo de norma aplicada. Las variables dependientes son: resistencia a la compresión (ASTM C39), tracción indirecta (ASTM C496) y flexión (ASTM C1609, EN 14651).

Los datos obtenidos se registraron y se clasificaron en matrices con las siguientes categorías: tipo de fibra, prueba de resistencia aplicada, resultado y referencia. Se elaboraron tablas comparativas de las propiedades mecánicas de los concretos con diferente fibra, se cuantificaron los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, a tracción y a flexión, se analizaron las tendencias y se compararon.

Con el propósito de garantizar la trazabilidad, la transparencia y la reproducibilidad del proceso de revisión y análisis de la bibliografía, se diseñó un diagrama de flujo (ver Figura 1). Este esquema sintetiza secuencialmente las etapas empleadas en la investigación, con base en los lineamientos PRISMA, para identificar y seleccionar la literatura científica, así como el desarrollo correspondiente al análisis, la comparación y la evaluación de los hallazgos.

Figura 1: Diagrama metodológico para la selección sistemática de artículos científicos.



Fuente: elaboración propia

5. Resultados del análisis comparativo multicriterio

Los artículos analizados evaluaron el comportamiento del concreto reforzado con fibras (FRC) mediante ensayos normalizados de compresión (ASTM C39), tracción indirecta (ASTM C496) y flexión (ASTM C1609 y EN 14651), lo que permitió establecer comparaciones entre los distintos tipos de fibras: acero, polipropileno, vidrio y basalto.

Para la síntesis de los resultados, en cada estudio se identificó, cuando estuvo disponible, el valor de la propiedad mecánica del concreto patrón y el correspondiente al concreto reforzado con fibras bajo condiciones experimentales comparables. El incremento porcentual se determinó respecto al concreto patrón mediante la siguiente Ecuación 1:

$$Incremento\ (\%) = \frac{R_{fibra} - R_{patrón}}{R_{patrón}} \times\ 100 \qquad (1)$$

Donde *Rfibra* corresponde a la resistencia obtenida con la incorporación de fibras y *Rpatrón* representa la resistencia del concreto sin fibras bajo la condición experimental de referencia. Los resultados obtenidos fueron posteriormente agrupados según el tipo de fibra y la propiedad mecánica

evaluada. Los valores presentados como rangos corresponden al intervalo de resultados identificado entre los estudios analizados y no representan un promedio estadístico.

5.1 Resistencia a la compresión

En general, los resultados evidencian que la incorporación de fibras produce incrementos moderados en la resistencia a compresión, aunque la magnitud de la mejora varía de acuerdo con el tipo de fibra y las condiciones experimentales de cada investigación. La síntesis presentada en la Tabla 5 muestra que las fibras de basalto registraron incrementos entre 5 % y 15 %, mientras que las de acero registraron aumentos entre 3 % y 10 %. Las fibras de vidrio registraron incrementos entre 2 % y 8 %, mientras que el polipropileno presentó los efectos más limitados sobre esta propiedad, con valores entre 0 % y 5 %.

La principal contribución del comportamiento del concreto reforzado con fibras radica en su capacidad para controlar la propagación de grietas y mejorar la respuesta del material tras la fisuración, en particular en condiciones de tracción y flexión. (Al-Kharabsheh et al., 2023; Vatin et al., 2024).

5.2 Resistencia a la tracción

En los ensayos de tracción indirecta, los resultados sintetizados en la Tabla 6 muestran que las fibras de acero presentaron incrementos entre 15 % y 30 %, mientras que las fibras de basalto registraron aumentos entre 18 % y 28 %. Las fibras de vidrio presentaron incrementos de entre 10 % y 20 %, mientras que el polipropileno mostró valores de entre 5 % y 12 %.

El comportamiento observado evidencia una mayor influencia de las fibras de acero y basalto sobre la resistencia a la tracción indirecta en comparación con las fibras de polipropileno. Este comportamiento se relaciona con la capacidad de las fibras para transmitir esfuerzos a través de las grietas una vez que la matriz cementicia comienza a fisurarse. En el caso de las fibras de acero, su elevada rigidez y capacidad de anclaje favorecen la transferencia de esfuerzos entre las superficies de la grieta, mientras que las fibras de basalto y vidrio presentan una respuesta que depende de sus características geométricas, de su dosificación y de su adherencia con la matriz (Xu et al., 2025; Oettel et al., 2022).

Tabla 5: Comparación del desempeño en la prueba de resistencia a la compresión (ASTM C39).

Tipo de fibra	Rango de incremento en resistencia a compresión (%)	Condiciones	Observaciones principales	Referencias clave
Acero (SFRC)	3–10 %	El efecto depende de la dosificación, geometría de la fibra y características de la matriz.	Incremento generalmente moderado; el principal aporte del acero se observa en el comportamiento posterior a la fisuración.	Oettel et al., (2022); Khan et al. (2022); Zhao et al. (2023); Xu et al. (2025); Drobyshynets et al. (2025).
Polipropileno (PPFRC)	0–5 %	La respuesta depende de la dosificación, longitud de las fibras y tipo de concreto.	Efecto limitado y variable sobre la resistencia a compresión en comparación con su contribución al control de fisuración.	Yuan & Jia (2020); Patil et al. (2021); Del Savio et al. (2022);
Vidrio (GFRC)	2–8 %	El comportamiento depende de la dosificación, relación agua/aglomerante y características de la fibra.	Puede producir mejoras moderadas; la respuesta depende de la interacción entre la fibra y la matriz cementicia.	Yuan & Jia (2020); He et al. (2021); Patil et al. (2021); Alguhi & Tomlinson (2023).
Basalto (BFRC)	5–15 %	El efecto depende de la dosificación, longitud de fibra y características de la matriz.	La mejora en compresión es variable y depende del contenido de fibra; su efecto también se manifiesta en tracción y flexión.	Jiang et al. (2020); Li et al. (2022); Al-Rousan et al. (2023); Xu et al. (2025); Vatin et al. (2024).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Comparación de desempeño en prueba de resistencia a tracción indirecta (ASTM C496).

Tipo de fibra	Rango de incremento en resistencia a tracción (%)	Condiciones	Características técnicas	Referencias clave
Acero (SFRC)	15–30 %	El incremento depende de la dosificación, geometría y adherencia fibra-matriz.	Elevada capacidad de transferencia de esfuerzos y puenteo de grietas después de la fisuración.	Khan et al. (2022); Yuan & Jia (2020); Alguhi & Tomlinson (2023); Xu et al. (2025); Drobyshynets et al. (2025).
Polipropileno (PPFRC)	5–12 %	La respuesta depende de la dosificación, longitud y características de las fibras.	Contribuye al control de microfisuras y puede producir mejoras moderadas en la resistencia a tracción indirecta.	Yuan & Jia (2020); Patil et al. (2021); Del Savio et al. (2022);
Vidrio (GFRC)	10–20 %	El comportamiento depende de la dosificación, relación agua/aglomerante y tratamiento superficial.	Puede mejorar la resistencia a tracción; la respuesta depende de la interacción fibra-matriz.	Yuan & Jia (2020); He et al. (2021); Patil et al. (2021); Alguhi & Tomlinson (2023).
Basalto (BFRC)	18–28 %	La respuesta depende de la dosificación, longitud de fibra y características de la matriz.	Favorece el puenteo de grietas y la transferencia de esfuerzos; su desempeño varía con el contenido de fibra.	Jiang et al. (2020); Li et al. (2022); Al-Rousan et al. (2023); Xu et al. (2025); Vatin et al. (2024).

Fuente: Elaboración propia

5.3 Resistencia a la flexión

En los ensayos de flexión, los resultados de la Tabla 7 muestran que las fibras de acero presentaron los mayores incrementos en resistencia residual y comportamiento posfisuración, con valores comprendidos entre 20 % y 35 %. Las fibras de basalto registraron incrementos entre 18 % y 30 %, mientras que las fibras de vidrio presentaron resultados más variables, asociados principalmente al tipo de fibra y a su tratamiento superficial. El polipropileno mostró una contribución menor al incremento de la resistencia estructural, aunque presentó efectos favorables en el control de la fisuración y en el comportamiento posterior al agrietamiento (Khan et al., 2022; Al-Rousan et al., 2023.

5.3 Discusión de comparativa

Los intervalos de incremento mostrados en las Tablas 5, 6 y 7 corresponden a los valores reportados en los estudios experimentales analizados. Cuando fue posible establecer una comparación directa con el patrón de concreto, el incremento porcentual se determinó mediante la Ecuación 1.

La integración de los resultados obtenidos en las distintas propiedades mecánicas permite identificar diferencias en la respuesta de cada tipo de fibra. En términos de resistencia a compresión, las fibras de basalto presentan los mayores incrementos dentro de los rangos sintetizados, mientras que las fibras de acero muestran un comportamiento particularmente favorable en tracción indirecta y flexión (Tabla 8).

En el caso de las fibras de acero, su alta rigidez, capacidad de anclaje y su distribución en la mezcla permiten controlar

Tabla 7: Comparación de desempeño en prueba a flexión (ASTM C1609 / EN 14651).

Tipo de fibra	Rango de incremento en resistencia a flexión / tenacidad (%)	Condiciones	Comportamiento posfisura	Referencias clave
Acero (SFRC)	20–35 %	El desempeño depende de la dosificación, geometría de la fibra y propiedades de la matriz.	Elevada capacidad residual, tenacidad y puenteo de grietas después de la fisuración.	Oettel et al., (2022); Khan et al. (2022); Zhao et al. (2023); Xu et al. (2025); Drobyshynets et al. (2025).
Polipropileno (PPFRC)	8–18 %	La respuesta depende del contenido y longitud de las fibras y del tipo de concreto.	Mejora de la ductilidad y control de fisuración; menor contribución a la resistencia residual que las fibras de acero.	Yuan & Jia (2020); He et al. (2021); Del Savio et al. (2022);
Vidrio (GFRC)	12–25 %	El comportamiento depende de la dosificación, tipo de fibra y tratamiento superficial.	Puede mejorar la resistencia a flexión y la tenacidad; la respuesta depende de la interacción fibra-matriz.	Yuan & Jia (2020); He et al. (2021); Wu et al. (2022); Alguhi & Tomlinson (2023).
Basalto (BFRC)	18–30 %	La respuesta depende de la dosificación, longitud de fibra y características de la matriz.	Incremento de la resistencia a flexión y capacidad de absorción de energía; la respuesta depende del contenido de fibra.	Jiang et al. (2020); Li et al. (2022); Al-Rousan et al. (2023); Xu et al. (2025); Vatin et al. (2024).

Fuente: Elaboración propia

eficazmente la propagación de grietas y mejorar la capacidad de redistribución de esfuerzos. Estos resultados son consistentes con los fundamentos del fib Model Code 2020, que considera la contribución de las fibras al comportamiento posfisuración y a la resistencia residual del concreto en función de características como la dosificación, orientación, geometría y adherencia fibra-matriz (fib, 2023).

Las fibras de basalto presentan un comportamiento mecánico favorable en las diferentes propiedades evaluadas. Los estudios de Al-Kharabsheh et al. (2023) y Vatin et al. (2024) reportan mejoras en las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de basalto, aunque la magnitud de los resultados depende de la dosificación y de las condiciones experimentales. En comparación con las fibras de acero, los resultados analizados muestran incrementos generalmente menores en algunas propiedades, pero un comportamiento equilibrado entre compresión, tracción y flexión.

Por otro lado, las fibras de vidrio presentan un comportamiento que depende de su composición y del tratamiento superficial aplicado. Si bien pueden mejorar la resistencia a flexión y tracción, su desempeño presenta variaciones entre investigaciones debido a las características de la fibra y a su interacción con la matriz cementicia (Ahmad et al., 2022). Por ello, los resultados obtenidos para este tipo de fibra deben interpretarse considerando las condiciones específicas de dosificación y las características de la matriz empleada en cada estudio.

En cuanto al polipropileno, su efectividad se centra en el control de la fisuración plástica y la retracción temprana. Su bajo módulo elástico permite que las fibras acompañen las deformaciones iniciales de la matriz y contribuyan a limitar la formación y propagación de microfisuras (Yuan & Jia, 2020). Sin embargo, su aporte al incremento de la resistencia estructural es más limitado que el de las fibras de acero y basalto, por lo que su principal contribución en los estudios analizados corresponde al control de la fisuración temprana.

En conjunto, no se identificó una única fibra con el mejor desempeño en todas las propiedades mecánicas evaluadas. La respuesta depende de la propiedad de interés y de variables como la dosificación, la geometría de las fibras, el tipo de concreto y las condiciones de ensayo. Asimismo, la comparación entre ASTM C1609 y EN 14651 evidencia diferencias en la evaluación de la resistencia residual, lo que dificulta la comparación directa entre investigaciones y refuerza la necesidad de procedimientos de evaluación estandarizados (Oettel et al., 2022).

Tabla 8: Comparación de la fibra más favorable según la propiedad mecánica evaluada

Propiedad evaluada (normativa)	Fibra más favorable	Justificación técnica
Compresión (C39)	Basalto (BF)	Incrementos moderados, excelente durabilidad.
Tracción indirecta (C496)	Acero (SF)	Incremento estructural postfisura.
Flexión (C1609 / EN 14651)	Acero (SF)	Incremento en tenacidad y resistencia residual.

Fuente: Elaboración propia

6. Conclusión

Este estudio creó un marco para analizar comparativamente el concreto reforzado con fibras, revisando cómo el acero, polipropileno, vidrio y basalto afectan su desempeño mecánico a través de investigaciones publicadas entre 2015 a 2026. Se evaluaron propiedades como la compresión, la tracción indirecta y la flexión mediante procedimientos normalizados, utilizando criterios estructurados para sistematizar y comparar la evidencia, considerando las diferencias en las condiciones experimentales.

La principal contribución consiste en integrar y comparar el comportamiento mecánico de estas fibras, lo que facilita su selección según la propiedad a mejorar. La comparación revela las ventajas relativas de cada fibra y muestra que su desempeño depende no solo del material, sino también de la mezcla y de las condiciones experimentales.

Sin embargo, la heterogeneidad de los estudios, debido a diferencias en la dosificación, la geometría, el tipo de concreto, el curado y los ensayos, limita las comparaciones directas. Aunque se identificaron otras propiedades, como el impacto y la durabilidad, no se incluyeron en el análisis principal por falta de condiciones homogéneas.

Los resultados muestran incrementos moderados en resistencia a compresión con fibras, con efectos más notables en tracción, flexión, tenacidad y comportamiento postfisuración. Las fibras de acero destacaron en resistencia residual y respuesta en flexión; las de polipropileno, en control de fisuración y de microfisuras; las de vidrio, en tracción y flexión, condicionadas por sus características; y las de basalto, en un balance mecánico. No existe una fibra superior en todas las propiedades, por lo que su elección debe adaptarse a la solicitación y a las condiciones.

Se recomiendan futuras investigaciones controladas, que incluyan sistemas híbridos y variables como la dosificación, la longitud y la adherencia, además de estudios de sostenibilidad y de ciclo de vida para ampliar los criterios de selección.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial generativa y tecnologías asistidas por IA

Durante la preparación del presente manuscrito, los autores utilizaron Grammarly para corrección gramatical, mejora de redacción y traducción. Todo el contenido generado o sugerido por la herramienta fue revisado y editado por los autores, quienes asumen plena responsabilidad por la exactitud, originalidad, integridad y rigor científico del contenido final del manuscrito.

Referencias

ACI Committee 544. (2017). ACI 544.9R-17: Report on measuring mechanical properties of hardened fiber-reinforced concrete. American Concrete Institute.

Acosta-Calderon, S., Gordillo-Silva, P., García-Troncoso, N., Bompa, D. V., & Flores-Rada, J. (2022). Comparative Evaluation of Sisal and Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Properties. Fibers, 10(4), 31. https://doi.org/10.3390/fib10040031

Ahmad, J., Burduhos-Nergis, D. D., Arbili, M. M., Alogla, S. M., Majdi, A., & Deifalla, A. F. (2022). A Review on Failure Modes and Cracking Behaviors of Polypropylene Fibers Reinforced Concrete. Buildings, 12(11), 1951. https://doi.org/10.3390/buildings12111951

Ahmad, J., González-Lezcano, R. A., Majdi, A., Ben Kahla, N., Deifalla, A. F., & El-Shorbagy, M. A. (2022). Glass fibers reinforced concrete: Overview on mechanical, durability and microstructure analysis. Materials, 15(15), 5111. https://doi.org/10.3390/ma15155111

Alguhi, H., & Tomlinson, D. (2023). Crack behaviour and flexural response of steel and chopped glass fibre-reinforced concrete: Experimental and analytical study. Journal of Building Engineering, 75, 106914. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106914

Al-Kharabsheh, B. N., Arbili, M. M., Majdi, A., Alogla, S. M., Hakamy, A., Ahmad, J., & Deifalla, A. F. (2023). Basalt Fiber Reinforced Concrete: A Compressive Review on Durability Aspects. Materials, 16(1), 429. https://doi.org/10.3390/ma16010429

Al-Rousan, E. T., Khalid, H. R., & Rahman, M. K. (2023). Fresh, mechanical, and durability properties of basalt fiber-reinforced concrete (BFRC): A review. Case Studies in Construction Materials, 18, e01916. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01916

Amin, M. N., Ahmad, W., Khan, K., & Ahmad, A. (2022). Steel Fiber-Reinforced Concrete: A Systematic Review of the Research Progress and Knowledge Mapping. Materials, 15(17), 6155. https://doi.org/10.3390/ma15176155

ASTM International. (2017). Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens (ASTM C496/C496M-17). https://doi.org/10.1520/C0496_C0496M-17

ASTM International. (2023). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens (ASTM C39/C39M-23). https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-23

ASTM International. (2024). Standard test method for flexural performance of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading) (ASTM C1609/C1609M-24). https://doi.org/10.1520/C1609_C1609M-24

Banthia, N., & Gupta, R. (2006). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. Cement and concrete Research, 36(7), 1263-1267. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.01.010

Bartos, P. J. M. (2017). Glassfibre Reinforced Concrete: a Review. IOP Conference Series Materials Science And Engineering, 246, 012002. https://doi.org/10.1088/1757-899x/246/1/012002

Bažant, Z. P. (1984). Size effect in blunt fracture: Concrete, rock, metal. Journal of Engineering Mechanics, 110(4), 518–535. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1984)110:4(518)

CEN. EN 14651:2005+A1:2007. Test method for metallic fibre concrete—Measuring the flexural tensile strength (LOP) and residual strength.

Choumanidis, D., Badogiannis, E., Nomikos, P., & Sofianos, A. (2016). The effect of different fibres on the flexural behaviour of concrete exposed to normal and elevated temperatures. Construction And Building Materials, 129, 266-277. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.089

Córdova, M. F., Díaz, D. I. P., Novoa, J. A., & Alayo, J. O. (2019). Fibras de acero en la resistencia a la compresión del concreto. Gaceta técnica, 20(2), 4-13. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19787.95523

Del Savio, A. A., La Torre, D., & Cedrón, J. P. (2022). Experimental volume incidence study and the relationship of polypropylene macrofiber slenderness to the mechanical strengths of fiber-reinforced concretes. Applied Sciences, 12(18), 9126. https://doi.org/10.3390/app12189126

Drobyshynets, S., Sunak, P., Melnyk, I., Pelekh, A., Rizak, V., Mykaylo, O., Nesukh, M., & Kukhniuk, O. (2025). Work of steel fiber reinforced concrete beams under the action of repeated loads: an experimental study. Procedia Structural Integrity, 72, 210-215. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2025.08.094

ElHamahmy, A. (2025). A review on the use of steel fibers in concrete slab repair and recommendations for enhanced performance. Discover Civil Engineering, 2(1). https://doi.org/10.1007/s44290-025-00346-1

Elshazli, M. T., Ramirez, K., Ibrahim, A., & Badran, M. (2022). Mechanical, Durability and Corrosion Properties of Basalt Fiber Concrete. Fibers, 10(2), 10. https://doi.org/10.3390/fib10020010

Gomaa, A. M., Hafez, K., Refaat, B., Ahmed, H., Hesham, M., Ehab, M., Osama, R., Walid, M., & Samy, K. (2025). Analyzing the Mechanical Properties of Fiber-Reinforced Concrete: A Bibliometric Review of Current Trends, Research Advances, and Future Outlook. Advanced Sciences And Technology Journal., 0(0), 0. https://doi.org/10.21608/astj.2025.396894.1077

He, J., Chen, W., Zhang, B., Yu, J., & Liu, H. (2021). The mechanical properties and damage evolution of UHPC reinforced with glass fibers and high-performance polypropylene fibers. Materials, 14(9), 2455. https://doi.org/10.3390/ma14092455

Idrees, M. (2020). Comparative study of hybrid fiber cementitious composites. Independent Journal Of Management & Production, 11(3), 1034-1049. https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i3.1081

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). Importancia de la información que emite el INEGI, uso en el sector de la construcción. https://www.inegi.org.mx/contenidos/inegi/ccu/2022/segunda_sesion/presentaciones/cmic.pdf

International Federation for Structural Concrete (fib). (2023). fib Model Code for Concrete Structures (2020). fib. https://www.fib-international.org/

Jiang, H., Cao, Q., Wang, R., Qu, Y., & Li, D. (2020). Effects of two admixtures on the axial compression of concrete-filled fibreglass tubes. Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Structures And Buildings, 174(11), 934-948. https://doi.org/10.1680/jstbu.18.00139

Juhász, P. K. (2025). Improved evaluation of fiber reinforced concrete beam tests using an analytical model of fiber distribution and fracture cross-section location. Journal Of Building Engineering, 111, 113544. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113544

Julián, C., Diego, S., & Martha, S. (2016). Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero. Ingeniería, investigación y tecnología, 17(4), 499-510. https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.11.009

Khan, M., Cao, M., Chaopeng, X., & Ali, M. (2021). Experimental and analytical study of hybrid fiber reinforced concrete prepared with basalt fiber under high temperature. Fire And Materials, 46(1), 205-226. https://doi.org/10.1002/fam.2968

Khan, I. U., Gul, A., Khan, K., Akbar, S., & Irfanullah. (2022). Mechanical properties of steel-fiber-reinforced concrete. Engineering Proceedings, 22(1), 6. https://doi.org/10.3390/engproc2022022006

Khandelwal, S., & Rhee, K. Y. (2020). Recent advances in basalt-fiber-reinforced composites: Tailoring the fiber-matrix interface. Composites Part B Engineering, 192, 108011. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108011

Kim, S. S., Qudoos, A., Jakhrani, S. H., Lee, J. B., & Kim, H. G. (2019). Influence of coarse aggregates and silica fume on the mechanical properties, durability, and microstructure of concrete. Materials, 12(20), 3324. https://doi.org/10.3390/ma12203324

Kinjawadekar, T. A., Patil, S., & Nayak, G. (2023). A Critical Review on Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars as Reinforcement in Flexural Members. Journal Of The Institution Of Engineers (India) Series A, 104(2), 501-516. https://doi.org/10.1007/s40030-023-00729-6

Köroğlu, M. A., & Özdöner, N. (2016). Behavioural Study of Steel Fiber and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. Key Engineering Materials, 708, 59-63. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.708.59

Kosior-Kazberuk, M., Krassowska, J., Barriguete, A. V., & Rodríguez, C. P. (2018). Parámetros de la fractura del hormigón reforzado con fibras de basalto= Fracture parameters of basalt fiber reinforced concrete. Anales de Edificación, 4(3), 52-59. https://doi.org/10.20868/ade.2018.3800

Kumar, D., Rex, L., Sethuraman, V., Gokulnath, V., & Saravanan, B. (2020). High performance glass fiber reinforced concrete. Materials Today Proceedings, 33, 784-788. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.174

Labaran, Y.H., Atmaca, N., Tan, M. et al. High-strength fiber-reinforced concrete: assessing the impact of polyvinyl alcohol, glass, and polypropylene fibers on structural integrity and cost efficiency. Discov Civ Eng 1, 37 (2024). https://doi.org/10.1007/s44290-024-00041-7

Lantsoght, E. O. (2019). How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups? Composites Part B Engineering, 175, 107079. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107079

Li, J., Chen, J., Wan, C., & Niu, J. (2021). Flexural toughness and evaluation method of steel fiber reinforced self-compacting lightweight aggregate concrete. Construction And Building Materials, 277, 122297. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122297

Li, Y., Hung, J., Syu, J., Chang, S., & Kuo, W. (2022). Influence of sizing of basalt fiber on the mechanical behavior of basalt fiber reinforced concrete. Journal Of Materials Research And Technology, 21, 295-307. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.045

Liao, G., Wu, R., He, M., Huang, X., & Wu, L. (2025). The Effect of Steel Fiber Content on the Workability and Mechanical Properties of Slag-Based/Fly Ash-Based UHPC. Buildings, 15(13), 2350. https://doi.org/10.3390/buildings15132350

Lugo Mejía, J. E. & Torres Pérez, Y. S. (2019). Caracterización del comportamiento mecánico del concreto simple con adición de fibras poliméricas recicladas PET. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Civil. Bogotá, Colombia. https://hdl.handle.net/10983/23953

Manfredi, R. P., & De Andrade Silva, F. (2020). Test Methods for the Characterization of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete: A Comparative Analysis. KSCE Journal Of Civil Engineering, 24(3), 856-866. https://doi.org/10.1007/s12205-020-0741-7

Manso-Morato, J., Hurtado-Alonso, N., Revilla-Cuesta, V., Skaf, M., & Ortega-López, V. (2024). Fiber-reinforced concrete and its life cycle assessment: A systematic review. Journal of Building Engineering, 94, 110062. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110062

Marcalikova, Z., Racek, M., Mateckova, P., & Cajka, R. (2020). Comparison of tensile strength fiber reinforced concrete with different types of fibers. Procedia Structural Integrity, 28, 950-956. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.11.068

Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & PRISMA-P Group. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. Systematic Reviews, 4(1), 1-9. https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1

Monaldo, E., Nerilli, F., & Vairo, G. (2019). Basalt-based fiber-reinforced materials and structural applications in civil engineering. Composite Structures, 214, 246-263. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.002

Murad, Y., & Abdel-Jabbar, H. (2021). Shear behavior of RC beams prepared with basalt and polypropylene fibers. Case Studies In Construction Materials, 16, e00835. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00835

Naaman, A. E. (1985). Fiber Reinforcement for Concrete. Concrete International, 7(3), 21–25.

Oettel V, Schulz M, Haist M.(2022). Empirical approach for the residual flexural tensile strength of steel fiber-reinforced concrete based on notched three-point bending tests. Structural Concrete. 2022; 23: 993–1004. https://doi.org/10.1002/suco.202100565

Patil, S., Somasekharaiah, H. M., & Sudarsana Rao, H. (2021). Evaluation of strength properties of fly ash and metakaolin based composite fiber (glass and polypropylene) reinforced high-performance concrete. International Journal of Engineering Trends and Technology, 69(4), 188–203. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I4P227

Pham, T. M. (2025). Fibre-reinforced concrete: State-of-the-art-review on bridging mechanism, mechanical properties, durability, and eco-economic analysis. Case Studies In Construction Materials, 22, e04574. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04574

Praveenkumar, S., & Sankarasubramanian, G. (2020). Synergic Effect of Sugarcane Bagasse Ash Based Cement on High Performance Concrete Properties. Silicon 2020 13:7, 13(7), 2357–2367. https://doi.org/10.1007/S12633-020-00832-4

Premkumar, R., Chokkalingam, R. B., Shanmugasundaram, M., & Ragasree, A. (2020). Study on mechanical properties of alkali activated binary blended binder containing steatite powder and fly ash / GGBS. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 872(1), 012153. https://doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012153

Ralegaonkar, R., Gavali, H., Aswath, P., & Abolmaali, S. (2018). Application of chopped basalt fibers in reinforced mortar: A review. Construction And Building Materials, 164, 589-602. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.245

Ramesh, B., Gokulnath, V., & Kumar, M. R. (2019). Detailed study on flexural strength of polypropylene fiber reinforced self-compacting concrete. Materials Today Proceedings, 22, 1054-1058. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.292

Roumaldi, JP, & Batson, GB (1963). Mecánica de la detención de grietas en el hormigón. Journal of Engineering Mechanics-asce, 89 , 147-168.

Ruben, N., Venkatesh, C., Durga, C. S. S., & Chand, M. S. R. (2021). Comprehensive study on performance of glass fibers-based concrete. Innovative Infrastructure Solutions, 6(2). https://doi.org/10.1007/s41062-021-00490-4

Sánchez, Y. C., Tocto, L. A., & Pérez, S. M. (2022). Cenizas y fibras utilizadas en la elaboración de concreto ecológico: una revisión de la literatura. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 25(49), 321-329. https://doi.org/10.15381/IIGEO.V25I49.20814

Saradar, A., Tahmouresi, B., Mohseni, E., & Shadmani, A. (2018). Restrained Shrinkage Cracking of Fiber-Reinforced High-Strength Concrete. Fibers, 6(1), 12. https://doi.org/10.3390/fib6010012

Saucedo Rodriguez, J. A. ., Atoche Zamora, J. J. ., & Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. Avances Investigación En Ingeniería, 18(2 (Julio-Diciembre). https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6942

Sengul, O. (2016). Mechanical behavior of concretes containing waste steel fibers recovered from scrap tires. Construction And Building Materials, 122, 649-658. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.113

Sheikh, S. A., & Kharal, Z. (2023). Full-scale and half-scale fibreglass-confined concrete columns for seismic resilience. Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Bridge Engineering, 177(3), 208-216. https://doi.org/10.1680/jbren.21.00104

Tassew, S., & Lubell, A. (2013). Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete. Construction And Building Materials, 51, 215-224. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.046

Thai, D., Nguyen, D., Pham, T., & Doan, Q. H. (2021). Prediction of residual strength of FRC columns under blast loading using the FEM method and regression approach. Construction And Building Materials, 276, 122253. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122253

Vairagade, V. S., & Dhale, S. A. (2023). Hybrid fibre reinforced concrete – A state of the art review. Hybrid Advances, 3, 100035. https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100035

Valencia-Saavedra, W. G., Angulo-Ramírez, D. E., & Mejia de Gutiérrez, R. (2018). Resistencia química de concretos de activación alcalina ceniza volante/ escoria: Sulfatos y ácidos. Informador Técnico, 82(1), 67–77. https://doi.org/10.23850/22565035.1351

Vatin, N. I., Hematibahar, M., & Gebre, T. H. (2024). Impact of basalt fiber reinforced concrete in protected buildings: a review. Frontiers In Built Environment, 10. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.140732

Wang, X., Fan, F., Lai, J., & Xie, Y. (2021). Steel fiber reinforced concrete: A review of its material properties and usage in tunnel lining. Structures, 34, 1080-1098. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.086

Wu, C., He, X., Zhao, X., He, L., Song, Y., & Zhang, X. (2022). Effect of fiber content on mechanical properties and microstructural characteristics of alkali resistant glass fiber reinforced concrete. Advances in Materials Science and Engineering, 2022, 1531570. https://doi.org/10.1155/2022/1531570

Xu, J., Li, H., Huang, S. et al. Comparative study on the properties of basalt and steel fiber reinforcement waste rock concrete. Sci Rep 15, 15103 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-99292-2

Yuan, Z., & Jia, Y. (2020). Mechanical properties and microstructure of glass fiber and polypropylene fiber reinforced concrete: An experimental study. Construction And Building Materials, 266, 121048. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121048

Zhao, C., Wang, Z., Zhu, Z., Guo, Q., Wu, X., & Zhao, R. (2023). Research on different types of fiber reinforced concrete in recent years: An overview. Construction and Building Materials, 365, 130075. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130075

Zheng, Y., Lv, X., Hu, S., Zhuo, J., Wan, C., & Liu, J. (2023). Mechanical properties and durability of steel fiber reinforced concrete: A review. Journal Of Building Engineering, 82, 108025. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108025