

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v8i16.0310>

AVANCES Y PERSPECTIVAS EN EL USO DE FIBRAS NATURALES Y SINTÉTICAS PARA EL DISEÑO DE HORMIGONES AUTORREPARABLES

ADVANCES AND PERSPECTIVES IN THE USE OF NATURAL AND SYNTHETIC FIBERS FOR THE DESIGN OF SELF-HEALING CONCRETES

Marcillo-Zapata Cristian Andrés ¹; Burgos-Campuzano Cynthia Alexandra ²;
Andrade-Valle Alexis Iván ³; Guerra-Valladares Marcelo David ⁴;
Toasa-Jimenes Rodrigo Patricio ⁵

¹ Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH. Riobamba, Ecuador.
Correo: andres.marcillo@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2552-903X>.

² Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH. Riobamba, Ecuador.
Correo: alexandra.burgos@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-4953-1667>.

³ Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH. Riobamba, Ecuador.
Correo: alexis.andrade@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1543-4381>.

⁴ Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH. Riobamba, Ecuador.
Correo: marcelo.guerra@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4119-4959>.

⁵ Universidad Nacional de Chimborazo, UNACH. Riobamba, Ecuador.
Correo: rodrigo.toasa@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8744-0794>.

Resumen

Este trabajo de investigación se basa en la revisión bibliográfica de artículos de alto impacto publicados en los últimos años en bases de datos como Scopus y ScienceDirect, con la finalidad de encontrar los hallazgos más recientes referentes al desarrollo del uso de fibras naturales y sintéticas como compuestos que aporten capacidad autorreparativa al hormigón. Los artículos fueron filtrados con el uso de la herramienta Connected Papers. El análisis de la literatura permitió identificar las características distintivas de cada tipo de fibra y contrastar su influencia en las propiedades mecánicas del hormigón. A partir de una investigación cualitativa basada en la recopilación de resultados de diversos estudios comparativos entre muestras de control y mezclas con fibras evaluadas tras procesos de reparación de fisuras, se evidenció que la incorporación de fibras contribuye de manera significativa a la durabilidad y a la capacidad autorreparadora del material. Este estudio busca ampliar el conocimiento sobre el empleo de fibras como estrategia para prolongar la vida útil del hormigón, preservar sus propiedades estructurales y reducir los costos asociados a su mantenimiento.

Palabras clave: Hormigón autocompactante, hormigón aligerado, material de aligeramiento, fibras orgánicas, resistencia a compresión, resistencia tracción indirecta.

Abstract

This research is based on a literature review of high-impact articles published in recent years in databases such as Scopus and ScienceDirect, with the aim of identifying the most recent findings regarding the development of the use of natural and synthetic fibers as compounds that provide self-healing capacity to concrete. The articles were filtered using the Connected Papers tool. The literature analysis allowed for the identification of the distinctive characteristics of each type of fiber and a comparison of their influence on the mechanical properties of concrete. Through qualitative research based on the compilation of results from various comparative studies between control samples and fiber-infused mixtures evaluated after crack repair processes, it was demonstrated that the incorporation of fibers significantly contributes to the durability and self-healing capacity of the material. This study seeks to expand knowledge on the use of fibers as a

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 18 de agosto de 2025.

Fecha de aceptación: 25 de octubre de 2025.

Fecha de publicación: 18 de diciembre de 2025.



strategy to extend the service life of concrete, preserve its structural properties, and reduce the costs associated with its maintenance.

Keywords: Self-compacting concrete, lightweight concrete, lightweighting material, organic fibers, compressive strength, indirect tensile strength.

1. Introducción

El hormigón es un material de construcción ampliamente utilizado, reconocido por su durabilidad y alta resistencia a la compresión, propiedades esenciales ante las constantes variaciones en las condiciones físicas y ambientales a las que las estructuras están expuestas (1). A diferencia del acero y la madera, el hormigón no presenta oxidación ni es combustible, lo que explica su preferencia entre los profesionales del sector de la construcción (2).

Sin embargo, su durabilidad puede verse comprometida por diversos factores, como variaciones de temperatura, agentes atmosféricos, condiciones de servicio, retracción o ataques químicos. Estos factores generan esfuerzos que pueden derivar en la aparición de fisuras, las cuales afectan tanto la integridad superficial como estructural, favorecen la corrosión, reducen las

propiedades mecánicas y aumentan los costos de mantenimiento (3).

La reparación manual de grandes estructuras no siempre resulta eficiente, dado que las fisuras pueden localizarse en áreas de difícil acceso. Por ello, es fundamental implementar estrategias que prolonguen la vida útil de las construcciones, garanticen la seguridad de los usuarios y reduzcan los costos asociados tanto al uso como al mantenimiento de la estructura (4).

Frecuentemente, los costos de mantenimiento y reparación no se incluyen en los presupuestos iniciales o no se realizan de manera periódica, comprometiendo la seguridad estructural. En China, los gastos en reparación de fisuras representan aproximadamente el 50% del mantenimiento anual total, evidenciando lo costoso que puede resultar atender el agrietamiento en las estructuras (3). Esto demuestra

que, además de la inversión inicial en construcción, es necesario prever un presupuesto para el mantenimiento.

Las fisuras facilitan la entrada de humedad, lo que puede corroer el acero de refuerzo y reducir las capacidades mecánicas del hormigón, generando inseguridad estructural. Para contrarrestar esto, se han desarrollado métodos que permiten al hormigón cerrar las fisuras de manera autónoma mediante procesos de autorreparación, evitando la penetración de sustancias químicas dañinas y protegiendo el refuerzo de la intemperie (5).

Aunque técnicas como el sellado superficial o la inyección de lechada pueden mejorar la durabilidad del hormigón, resultan costosas. Por esta razón, la investigación en materiales autorreparables ha cobrado gran relevancia en ingeniería de la construcción. Estos materiales disminuyen la permeabilidad, restauran la resistencia y rigidez del hormigón, y permiten mantener la calidad original de la estructura (6; 1).

Debido a la baja resistencia a la tensión del hormigón y su

susceptibilidad al fisuramiento, los investigadores han explorado el uso de fibras como refuerzo. Las fibras pueden mejorar la resistencia a la compresión, incrementar la ductilidad y reducir el tamaño de las fisuras. Entre sus ventajas, crean enlaces entre las caras de la grieta, limitando su apertura inicial y controlando su propagación (7; 4).

La autorreparación del hormigón, observada desde la antigüedad en monumentos romanos como el Panteón, ha sido objeto de estudio desde 1974, cuando Munday y Dhir iniciaron investigaciones sobre la reparación autógena del hormigón (7; 6). Este proceso ocurre cuando partículas de calcita no hidratada presentes en el concreto reaccionan con la humedad, formando carbonato de calcio que sella las fisuras (7; 6; 8).

En las últimas dos décadas, la investigación sobre hormigones autorreparables con fibras ha experimentado un crecimiento significativo. Desde 1984, el número de publicaciones anuales ha aumentado considerablemente, alcanzando cerca de 70 estudios en 2023 (9; 1). Este auge se atribuye a los beneficios que ofrecen estos

materiales, como la prolongación de la vida útil de las estructuras, la reducción de costos de mantenimiento y la promoción de la sostenibilidad al minimizar el desperdicio de recursos (1).

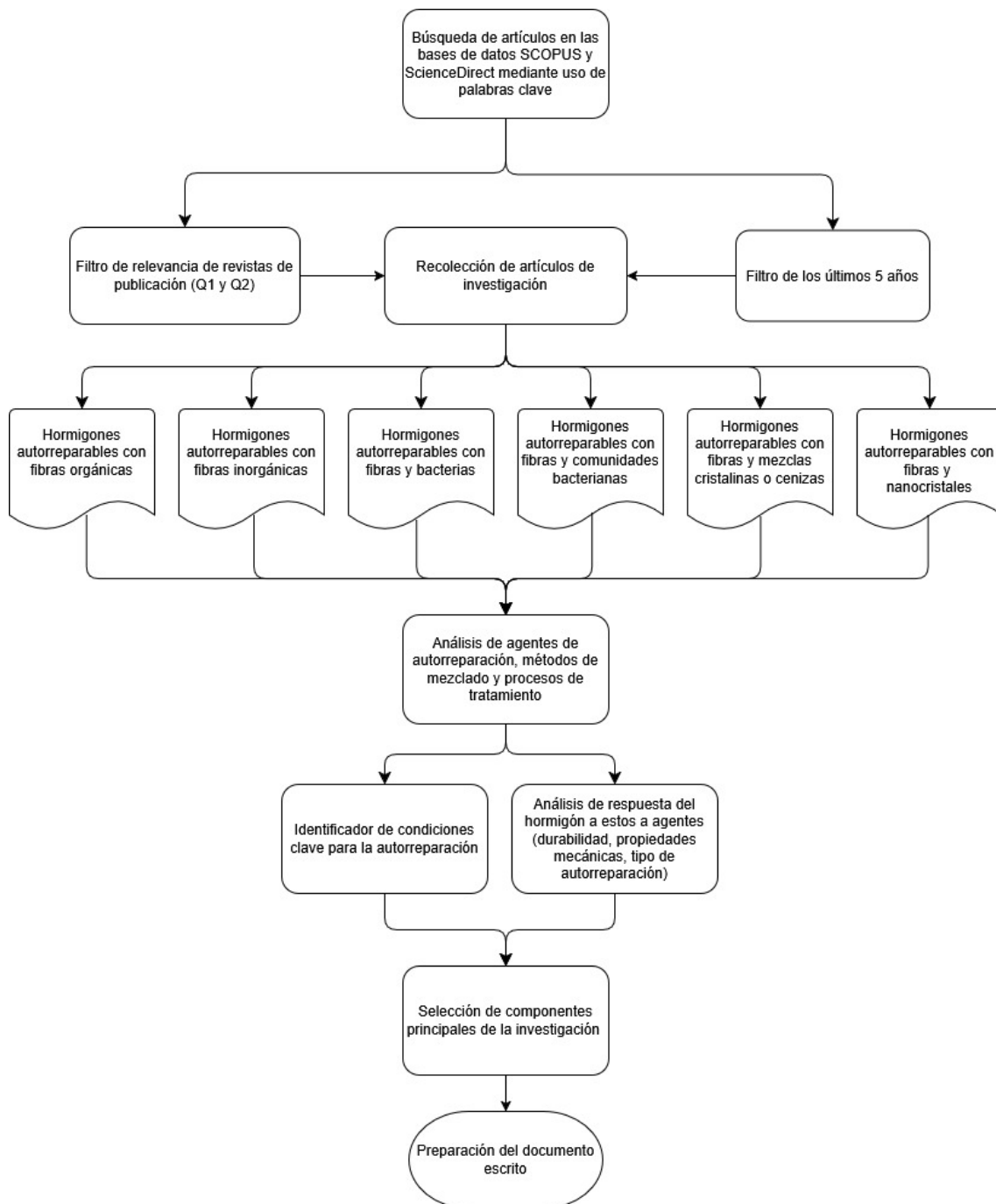
El deterioro de las estructuras de hormigón impacta negativamente en la economía, el tejido social y el entorno natural de un país. La construcción y los recursos invertidos en ella afectan directamente la percepción del desarrollo de un país, no solo por su aporte al producto interno bruto, sino también porque la infraestructura simboliza el progreso (10).

Esta investigación busca proporcionar información valiosa para futuras investigaciones, describiendo estudios previos y sus metodologías, con el fin de analizar el uso de fibras disponibles en Ecuador para desarrollar nuevos materiales que amplíen la vida útil de las estructuras, manteniendo propiedades mecánicas similares a las iniciales.

2. Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática de artículos sobre hormigones autorreparables con fibras, publicados en últimos años en revistas Q1 y Q2, utilizando Scopus y ScienceDirect como fuentes. La selección de estudios se apoyó en la herramienta Connected Papers. Se analizaron los agentes de autorreparación, metodologías de mezclado, tratamientos de las muestras y condiciones clave para el proceso de autorreparación. Con base en estos hallazgos, se identificaron los componentes principales y se elaboró el documento final, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Descripción de la metodología empleada.



2.1. Criterios de inclusión.

La búsqueda se realizó utilizando las palabras clave "Self healing", "fiber", "durability", "cracking" y "mechanical properties", con el objeto de identificar las nuevas tendencias de

investigación y las tecnologías más recientes utilizadas en el desarrollo de estos materiales. Habiendo excepciones puntuales de artículos más antiguos que fueron importantes para el desarrollo de la investigación.

Se incluyeron investigaciones que contengan información acerca del uso de fibras en hormigones autorreparables, especialmente aquellas de origen natural o de fácil disponibilidad en Ecuador, así como su combinación con otros agentes de autorreparación. Además, se analizaron los tipos de fibras, las proporciones utilizadas, las metodologías de mezcla y las pruebas aplicadas para evaluar las propiedades finales de los compuestos, incluyendo artículos de revisión sobre el tema.

2.2 Selección de la muestra

Se realizó una búsqueda de artículos en las bases de datos Scopus y

ScienceDirect, utilizando palabras clave y limitando los resultados a publicaciones de los últimos cinco años, lo que arrojó un total de 292 estudios. Para identificar relaciones entre ellos se empleó la herramienta Connected Papers. Posteriormente, se evaluó la relevancia de las revistas, seleccionando 35 artículos útiles para este trabajo. De estos, 25 investigaciones analizan el comportamiento de las fibras y su efecto en la durabilidad y autorreparación del hormigón, de los cuales 10 son artículos de revisión del estado del arte. En la Tabla 1 se resumen los artículos según el tipo de fibra empleada.

Tabla 1. Artículos seleccionados para revisión.

Compuesto	Fibras y más	Autor	Año	Artículo
FIBRA	Celulosa	Singh & Gupta	2019	Influence of cellulose fiber addition on self-healing and water permeability of concrete (11)
	Neumático	Huang et al.	2020	The Self-Sealing Capacity of Environmentally Friendly, Highly Damped, Fibre-Reinforced Concrete (12)
	Polipropileno	Garg et al.	2021	Self-Healing Potential and Post-Cracking Tensile Behavior of Polypropylene Fiber-Reinforced Cementitious Composites (13)
	Coco y Maíz	Barrera et al.	2023	Comparative Study of Coconut and Corn Fibers as Aggregate in Concrete (14)
	Bagazo palma dátiles	de de Moawad Moussa	& 2023	The effect of using data palm waste fibers in plain concrete mixture by comparing three pre-treatment techniques (15)
	Basalto acero	y Chen et al.	2023	Effects of basalt fiber reinforced polymer minibars on the flexural behavior of pre-cracked UHPC after chloride induced corrosion (16)

FIBRA Y CENIZA	Coco, yute, plátano, paja de arroz y cáñamo	Ahmad et al.	2024	Improvement in the strength of concrete reinforced with agriculture fibers: Assessment on mechanical properties and microstructure analysis (17)
	Biofibra de kenaf y ceniza de cáscara de yuca	Ogunbode et al.	2021	Mechanical and microstructure properties of cassava peel ash-based kenaf bio-fibrous concrete composites (18)
	Fibras de acero y ceniza de arveja, ceniza de madera de roble y almendro, ceniza de residuos animales	Hajmohammadian et al.	2022	Mechanical Properties of Self-Compacting Lightweight Concrete Containing Organic Waste Ash pertier (19)
	Fibra de coco y ceniza de coco	Kumar et al.	2024	Enhancing the Strength Properties of Concrete Using Coconut Fiber and Coconut Fiber Ash (20)
	Fibras de polietileno de peso molecular ultra alto y cenizas volantes	Ma et al.	2024	Enhancing the self-healing performance of engineered cementitious composites in harsh environment through cementitious matrix optimization and crack width controlling (21)
	Fibras de PVA y humo de sílice	Salam et al.	2024	Effect of silica fume on fracture analysis, durability performance and embodied carbon fiber-reinforced self-healed concrete (22)
FIBRA Y BACTERIAS	Fibras de basalto y bacterias bacillus subtilis	Vijay & Murmu	2019	Self-repairing of concrete cracks by using bacteria and basalt fiber (23)
	Fibras de celulosa y bacterias bacillus subtilis	Singh & Gupta	2019	Cellulose fiber as bacteria-carrier in mortar: Self-healing quantification using UPV (24)
	Fibras de polipropileno, PVA y bacterias resistentes a los álcalis de la anhidrasa carbónica	Feng, Su & Qian	2019	Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete (25)
	Fibras de polipropileno y bacillus alcalophilus	Su et al.	2020	Exploring the coupled mechanism of fibers and bacteria on self-healing concrete from bacterial extracellular polymeric substances (EPS) (26)
	Fibra de acero de llanta reciclada, cenizas voladoras y escoria de horno	Neves et al.	2024	Self-healing assessment and variability in plain and recycled tyre fiber reinforced concrete based on tensile splitting test (27)
	Fibra de polímero y comunidad bacteriana	Xiang et al.	2024	Depth-dependent self-healing capacity and mechanism of cracked fiber-reinforced concrete by bacterial community (28)

FIBRAS Y MEZCLAS CRISTALINAS	Fibra de celulosa y lysinibacillus sphaericus	Igbokwe et al.	2024	Self-healing of macroscopic cracks in concrete by cellulose fiber carried microbes (29)
	Fibras de acero y mezclas cristalinas	Cuenca & Ferrara	2019	Fracture toughness parameters to assess crack healing capacity of fiber reinforced concrete under repeated cracking-healing cycles (30)
	Fibra de nylon, cenizas voladoras y aditivos cristalinos	Neeraja & Prasad	2023	Experimental investigation on self healing of fibre reinforced concrete (31)
FIBRAS Y BACTERIAS	Fibras de coco, linaza y yute y bacillus subtilis, bacillus sphaericus y bacillus cohnii	Rauf et al.	2020	Comparative performance of different bacteria immobilized in natural fibers for self-healing in concrete (32)
	Fibras de PVA, cenizas volantes y bacterias subtilis	Hassanin et al.	2023	Coupling behavior of antogenous and antonomous self-healing techniques for durable concrete (33)
FIBRAS Y NANOCÁPSULAS	Fibras de carbono y nanotubos de carbono	Siad et al.	2017	Multi-functional cementitious composites with sensing and healing capabilities (34)
	Nanofibras de alúmina y nanocristales de celulosa	Cuenca et al.	2022	Effects of Alumina Nanofibers and Cellulose Nanocrystals on Durability and Self-Healing Capacity of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concretes (35)

Para el análisis de estos artículos se han realizado matrices en las cuales se muestran las características principales del uso de fibras, su desempeño como agente curador del hormigón, su compatibilidad con otros compuestos, desarrollo de sus propiedades mecánicas, entre otros. Es importante mencionar que en el análisis de resultados de ha optado por hacer una diferenciación en función del origen de las fibras: naturales (coco, maíz, palmo de dátiles, cáñamo, yute, paja de arroz,

etc) y sintéticas (Basalto, acero, polietileno, nylon, carbono, etc.)

3. Resultados y discusión

Dentro de las tendencias de investigación actuales se puede resaltar que las mezclas de distintos materiales y sustancias con fibras es a lo que se está apuntando, debido a que estas mezclas pueden lograr distintos resultados en las muestras, ya sea en las propiedades mecánicas o propiedades de

curación. Se debe mencionar que aun cuando el uso de fibras dentro de los hormigones no es reciente, es difuso establecer los tipos de ensayos que se puede utilizar para analizar la reparación y las condiciones en las que se analizarán las muestras.

3.1 Propiedades de las fibras y sustancias adicionales.

En la Tabla 2 se puede ver un resumen de las características de las fibras utilizadas en los artículos en mención, las que a pesar de que su objetivo principal es verificar el impacto de los mismos en la resistencia, reparación y durabilidad del hormigón, no necesariamente en todos los artículos se detallan algunas propiedades importantes.

Tabla 2. Propiedades de las fibras y sustancias adicionales.

Compuesto	Artículo	Tipo de Fibra	Adicionales		Características de la fibra					
			Sustancia adicional	Cantidad	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Porcentaje (%)	Tensión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Índice de absorción
FIBRA	Influence of cellulose fiber addition on self-healing and water permeability of concrete	Ultra Fiber 500	-	-	2.1	0.016	0.5	750	8500	85%
	The Self-Sealing Capacity of Environmentally Friendly, Highly Damped, Fibre-Reinforced Concrete	Duras S500	Caucho granulado	5%	48	0.7	0.1-0.4	470	6000	-
	Self-Healing Potential and Post-Cracking Tensile Behavior of Polypropylene Fiber-Reinforced Cementitious Composites	Macrofilamento	-	-	50	0.05	0-2	550	7500	-
		Microfibra			12	0.018		300-450	7000	-
	Comparative Study of Coconut and Corn Fibers as Aggregate in Concrete	Coco	-	-	-	-	0.5	-	-	-
		Maíz			-	-	0.5	-	-	-
	The effect of using date palm waste fibers in plain concrete mixture by comparing three pre-treatment techniques	Palma de dátiles	-	-	60	-	0-0.8	-	-	-

	Effects of basalt fiber reinforced polymer minibars on the flexural behavior of pre-cracked UHPC after chloride induced corrosion	Basalto	-	-	12	0.44	3	1300	43000	-
		Acero			12	0.2	3	2200	200000	-
	Improvement in the strength of concrete reinforced with agriculture fibers:	Cáñamo			6 a 18	-	-	900	34000	85-105%
	Assessment on mechanical properties and microstructure analysis	Coco			-	-	-	175	4000-6000	130-180%
		Banana	-	-	-	-	-	539-754	9000-16000	-
		Yute			-	-	-	350-550	13000-22400	-
		Paja de arroz			-	-	-	450	-	-
	Mechanical and microstructure properties of cassava peel ash-based kenaf bio-fibrous concrete composites	Biofibra de kenaf	Ceniza de cáscara de yuca	10%	50	0.0654	0.5	704	39770	-
	Mechanical Properties of Self-Compacting Lightweight Concrete Containing Organic Waste Ash	Acero	Ceniza de arveja, madera de roble y almendro, residuos animales	15%	35	0.05	1	-	-	-
	Enhancing the Strength Properties of Concrete Using Coconut Fiber and Coconut Fiber Ash	Coco	Ceniza de coco	0-15%	-	-	3	-	-	-
FIBRA Y CENIZA	Enhancing the self-healing performance of engineered cementitious composites in harsh environment through cementitious matrix optimization and crack width controlling	Polietileno de peso molecular ultra alto	-	-	12	0.217	2	-	115000	-
	Effect of silica fume on fracture analysis, durability performance and embodied carbon fiber-reinforced self-healed concrete	PVA	Humo de sílica	7.50%	6 a 12	0.04	0.5	-	-	-
	Self-repairing of concrete cracks by using bacteria and basalt fiber	Basalto	Bacillus Subtilis	-	12	-	-	3200-3850	93000	-
	Cellulose fiber as bacteria-carrier in mortar: Self-healing quantification using UPV	Ultra Fiber 500	Bacillus Subtilis	-	2.1	0.016	0.5	750		-
FIBRA Y BACTERIAS	Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete	Polipropileno	Bacteria resistente a los alcalis de anhídrida carbónica	-	6 y 9	0.038	1.5	358	3500	-
		PVA		-	6	0.015	1.5	1419	37400	-

	Exploring the coupled mechanism of fibers and bacteria on self-healing concrete from bacterial extracellular polymeric substances (EPS)	Polipropileno	Bacillus Alcalophilus	-	6	0.038	1.5	-	3500	-
	Self-healing assessment and variability in plain and recycled tyre fiber reinforced concrete based on tensile splitting test	Acero	-	-	33.2	0.3	-	-	-	-
	Depth-dependent self-healing capacity and mechanism of cracked fiber-reinforced concrete by bacterial community	Polímero	Bacterias solas: Sporosarcina Pasteurii	1X10^9 bacterias/ml	-	-	1.5	-	-	-
			Comunidades bacterianas: Aeróbicas, desnitrificantes, reductoras de sulfato	1X10^9 bacterias/ml						
	Self-healing of macroscopic cracks in concrete by cellulose fiber carried microbes	Ultra Fiber 500	Lysinibacillus Sphaericus	-	2.1	0.018	0.45	900	-	-
FIBRAS Y MEZCLAS CRISTALINAS	Fracture toughness parameters to assess crack healing capacity of fiber reinforced concrete under repeated cracking-healing cycles	Acero	Mezcla cristalina	0.81%	60	0.92	11.11	-	-	-
	Experimental investigation on self healing of fibre reinforced concrete	Nylon	Cenizas volantes	15%			0.5-1.5			3
			Mezcla cristalina	1.10%						
FIBRAS, CENIZAS Y BACTERIAS	Comparative performance of different bacteria immobilized in natural fibers for self-healing in concrete	Lino	Bacillus Subtilis	13 L/m3	25	0.04	0.31	-	-	-
		Coco	Bacteria Cohnii	13 L/m3	25	0.2-0.74	1.19	-	-	-
		Yute	Bacteria Sphaericus	13 L/m3	25	0.06	0.39	-	-	-
	Coupling behavior of antigenous and antonomous self-healing techniques for durable concrete	PVA	Bacillus Subtilis	1.8x10^8 células/ml	9	0.04	01-feb	1320	-	-
FIBRAS Y NANOCÁPSULAS	Multi-functional cementitious composites with sensing and healing capabilities	Carbono	Nanotubos de carbono	0.25-0.5%	6	0.0072	0.5-1%	4137	-	-

Effects of Alumina Nanofibers and Cellulose Nanocrystals on Durability and Self-Healing Capacity of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concretes	Acero Azichem Readymix 200	Mezcla cristalina Penetro Admix	0.80%	20	0.22	1.5	-	-
		Nanofibras de alúmina	0.25%	-	-	-	-	-
		Nanocristales de celulosa	0.15%	-	-	-	-	-

Al realizar una comparación de las fibras sintéticas se pudo apreciar una división (micro y macro fibras) determinada por la longitud y el diámetro de la fibra, así como por el modo de transferencia de esfuerzos dentro de la matriz cementicia. Las investigaciones adoptan longitudes de fibra características de 6 a 12mm para microfibras y de 48 a 60mm para macrofibras, esta división coincide con los rangos definidos por (36; 37). La introducción de microfibras favoreció una distribución uniforme dentro de la matriz, lo que propicio fisuras controladas y de menor tamaño, ya que la fibra interrumpe y desvía la propagación de grieta, esto facilita la autorreparación del hormigón también conocido como autocurado autógeno. (28; 29; 30); Por otra parte, las macrofibras brindaron una longitud suficiente para producir un mejor anclaje con la matriz,

generando así una capacidad de puenteo de las fibras que cosen las grietas formadas en el hormigón, modificando propiedades como la resistencia y a veces la durabilidad, sin embargo, la autorreparación del hormigón es limitada (41).

Al analizar las fibras naturales también se aprecia una división en función de la longitud, ya que esto puede definir el modo de interacción con la matriz, las investigaciones adoptan a longitudes características entre 10 - 25mm como fibras cortas, y entre 50 - 60mm como fibras largas, (no se hablan de tamaños intermedios.). La utilización de fibras cortas permitió la dispersión homogénea en la matriz, promoviendo una microfisuración distribuida, lo que favorece la retención de humedad y la rehidratación interna, ambiente idóneo para el autocurado autógeno,

esta reducción del ancho de fisura se apreciar en (25; 26) donde las fibras cortas redujeron el ancho de fisuras entre 35 – 40%, por otro lado se tiene a las fibras largas, las cuales favorecieron el puenteo en fisuras de tamaño considerables, incrementando la energía de fractura y la ductilidad, un ejemplo sobre esto se puede ver en (32), donde se menciona una recuperación de resistencia a la flexión del 25-30% después de ciclo de curado húmedo.

El porcentaje de fibra en la mayoría de investigaciones se determinó con respecto al volumen total del hormigón, en fibras sintéticas el porcentaje oscila entre 0.1 y 1.0%, llegando a identificar una relación con la longitud de la fibra, en microfibras los contenidos más comunes se sitúan entre 0.2 y 0.6% del volumen total del hormigón, en (25; 11), coinciden que la incorporación de microfibra en este rango induce una microfisuración más fina y una distribución homogénea dentro de la matriz, lo que permitió reducir la permeabilidad hasta en una 85% (11) y facilitar la autocuración autógena al controlar anchos de fisura por debajo de 0.3mm. Por otro lado, en la

macrofibras los estudios reportan valores entre 0.5 – 1.0% del volumen total del hormigón, donde se llegó a apreciar que la contribución principal de esta fibra es mecánica, aumentando la tenacidad y la resistencia residual post-fisuración, aunque la autocuración autógena del hormigón es menos significativa, la presencia de macrofibras puede limitar el ancho de fisura manteniendo en un rango de 0.3 a 0.5mm lo cual posibilita una autorreparación parcial del material (26; 13; 18).

La cantidad de fibras naturales también se observó una relación con la longitud de la fibra, en fibras cortas el contenido en volumen puede variar entre 0.25 y 0,5% del volumen total del hormigón, lo que provocó una dispersión homogénea de la fibras y una reducción significativa en la apertura media de fisuras, entre el 35-40% en comparación con el hormigón sin fibras (14), además ofrece un mecanismo complementario de autocuración al retener agua en la superficie de la fibra lo que favorece al sellado autógeno especialmente de microfisuras (11; 42).

Por otra parte, las investigaciones que incorporan fibras naturales largas, generalmente utilizan porcentajes algo superiores entre 0.5 y 1.5%, en las investigaciones este tipo de fibras actuaron como puentes mecánicos entre fisuras y redujeron la permeabilidad, además de funcionar como reservorios capilares de humedad, por su estructura porosa, lo que puede producir un efecto de retención y liberación gradual de agua, lo que favoreció la hidratación interna del hormigón generando un ambiente idóneo para la autorreparación, un ejemplo de este efecto se produjo en (29) donde se sometieron a probetas a ciclos de curado húmedo, lo que permitió una recuperación en resistencia a compresión entre un 25 a 30%. (18; 17; 29)

Para finalizar, en las investigaciones analizadas se pudo distinguir que las fibras sintéticas presentan módulos de elasticidad entre 40000 a 200000MPa, y resistencias a la tracción entre 400 a 2000MPa, propiedades destacables si se compara con materiales de construcción, lo que pudo generar un control eficiente del ancho de fisura, condición crítica para que se

produzca la autocuración autógena del hormigón. (25; 10). En contraste, las fibras orgánicas presentan módulos de elasticidad (4000 a 25000 MPa) y resistencias a la tracción (200 a 600MPa) moderadas. Aunque su rigidez es insuficiente en la mayoría de los casos para restringir el ancho de fisura, su estructura porosa puede desarrollar otro mecanismo de curado interno, al retener y liberar humedad dentro de las fisuras, este comportamiento se puede apreciar en (17) donde la inclusión de fibras de sisal permitió la recuperación de resistencia a la compresión del 25 a 30%.

3.2 Elaboración de las muestras

De las investigaciones analizadas el proceso de fabricación de los hormigones con fibra sigue una secuencia similar a la de un hormigón convencional, con ciertas modificaciones que se centran en: la preparación previa de las fibras y la secuencia de incorporación de fibras en el proceso de mezclado:

La preparación previa o el pretratamiento de las fibras antes de su incorporación al hormigón, es fundamental, ya que se busca

mitigar la incompatibilidad de las fibras con la matriz cementicia.

Para el caso de las fibras orgánicas (celulosa, sisal, cáñamo, coco, lino, etc), que generalmente son hidrofílicas (alta absorción de agua) y susceptibles a la degradación alcalina, hace que estas necesiten un pretratamiento que se debe enfocar en la reducción del porcentaje de absorción, y la ralentizar de su degradación .(43; 17), un ejemplo puede ser el tratamiento alcalino, el cual puede reducir la degradación alcalina al eliminar las hemicelulosa y la lignina, además de mejorar la adhesión interfacial al aumentar la rugosidad y separar las fibrillas(43)

Las fibras sintéticas (PVA, acero o basalto), son generalmente hidrofóbicas (baja o nula absorción de agua), por lo que el pretratamiento en caso de realizarlo está destinado a mejorar su adhesión con la matriz cementicia (13), como por ejemplo la modificación superficial química, el cual genera una superficie de fibra revestida que la vuelve reactiva con la matriz cementicia, lo que puede permitir la formación de productos de curación como (CSH) (44).

La secuencia de incorporación de fibras durante el proceso de mezclado del hormigón es importante para inducir una dispersión homogénea y la preservación de la trabajabilidad del compuesto en estado fresco (43).

Por un lado la fibras naturales al ser generalmente hidrofílicas, tienen una alta capacidad de absorción de agua (celulosa 80%; cáñamo 85 al 105%), por lo que su inclusión debe gestionarse adecuadamente para evitar un impacto en la trabajabilidad, por este hecho investigaciones como (26; 45) menciona que estas fibras deben ser incorporadas al final del proceso de mezclado, esto quiere decir después de que los agregados, el cemento, las adiciones minerales y la parte líquida hayan sido completamente mezclados. La mezcla continúa durante un periodo adiciona hasta lograr una distribución uniforme de las fibras.

Las fibras sintéticas pueden presentar una alta resistencia al medio alcalino agresivo y bajo porcentaje de absorción, la secuencia de incorporación de fibras en el proceso de mezclado se centra en la dispersión homogénea. Por lo que investigaciones como (3)

observaron mejor rendimiento cuando las fibras de polipropilenos fueron integradas en una mezcla seca de cemento y arena, mientras que otras fibras sintéticas muestran un alto rendimiento al incorporar al final de la mezcla. (45; 46)

3.2 Propiedades mecánica de hormigones con fibras.

La durabilidad del hormigón está netamente relacionada a sus propiedades mecánicas ya que no tendría sentido mantener una estructura en uso si únicamente se

ve en buen estado, pero no está presta para resistir cualquier tipo de sollicitación o esfuerzo al que se pueda ver sometido durante su vida útil (Deeba & Ammasi, 2024). Es por esto que a continuación se muestra el comportamiento mecánico de los hormigones con fibra, donde se ha llegado a determinar que, en casi todas las investigaciones analizadas para esta revisión, la resistencia a la compresión, tracción y flexión son propiedades que en la mayoría casos son determinados.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de hormigones con fibras

Compuesto	Artículo	Tipo de Fibra		% de resistencia a la compresión	% de resistencia a la tracción	% de resistencia a la flexión	Cant. de fibra (%)
FIBRA	Influence of cellulose fiber addition on self-healing and water permeability of concrete	Ultra 500	Fiber	-25,59	-	+7,84	0,5
	The Self-Sealing Capacity of Environmentally Friendly, Highly Damped, Fibre-Reinforced Concrete	Duras S500		+53,7	+16,91	+12,84	0,1;0,2;0,3;0,35;0,4
	Self-Healing Potential and Post-Cracking Tensile Behavior of Polypropylene Fiber-Reinforced Cementitious Composites	Macro-filamento		+48			0,3;0,6;0,75;1,25
		Microfibra		+51	+33		0,3;0,6;0,75;1,25
	Comparative Study of Coconut and Corn Fibers as Aggregate in Concrete	Coco		+23,74			0,5;1,5
		Maíz		-2,15			0,5;1,5
	The effect of using data palm waste fibers in plain concrete mixture by comparing three pre-treatment techniques	Palma dátiles	de	+51	+33		0,4; 0,6; 0,8

FIBRA Y CENIZA	Effects of basalt fiber reinforced polymer minibars on the flexural behavior of pre-cracked UHPC after chloride induced corrosion		Basalto	+9,52	+51		3
			Acero	-8,7	+48		3
			Cáñamo	+25			2
	Improvement in the strength of concrete reinforced with agriculture fibers: Assessment on mechanical properties and microstructure analysis		Coco	+25	+20,4	+3	1,5
			Banana				0,5-1
			Yute	+7,96	+14,1		0,1
			Paja de arroz	+7	+17,1	+25,8	0,5
	Mechanical and microstructure properties of cassava peel ash-based kenaf bio-fibrous concrete composites		Biofibra de kenaf	-11		+19	0,25-1
	Mechanical Properties of Self-Compacting Lightweight Concrete Containing Organic Waste Ash		Acero	-12	+37	+110	0,5-0,75-1,0
	Enhancing the Strength Properties of Concrete Using Coconut Fiber and Coconut Fiber Ash		Coco	-24			3
FIBRA Y BACTERIAS	Enhancing the self-healing performance of engineered cementitious composites in harsh environment through cementitious matrix optimization and crack width controlling		Polietileno de peso molecular ultra alto				2
	Effect of silica fume on fracture analysis, durability performance and embodied carbon fiber-reinforced self-healed concrete		PVA	+27			0,5
	Self-repairing of concrete cracks by using bacteria and basalt fiber		Basalto	+27			0,15
	Cellulose fiber as bacteria-carrier in mortar: Self-healing quantification using UPV		Ultra Fiber 500	-6,97			0,5
	Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete		Polipropileno				1,5
			PVA				1,5
	Exploring the coupled mechanism of fibers and bacteria on self-healing concrete from		Polipropileno			+32	1,5

FIBRAS Y MEZCLAS CRISTALINAS	bacterial extracellular polymeric substances (EPS)					
	Self-healing assessment and variability in plain and recycled tyre fiber reinforced concrete based on tensile splitting test	Acero		-9,09	-16	0,15
	Depth-dependent self-healing capacity and mechanism of cracked fiber-reinforced concrete by bacterial community	Polímero		+6,50	+22,0	1,5
	Self-healing of macroscopic cracks in concrete by cellulose fiber carried microbes	Ultra 500	Fiber	+6,5	+25	0,45
	Fracture toughness parameters to assess crack healing capacity of fiber reinforced concrete under repeated cracking-healing cycles	Acero		+6,5		0,45
	Experimental investigation on self healing of fibre reinforced concrete	Nylon		+82,68	+63,9	1,5
FIBRAS, CENIZAS Y BACTERIAS	Comparative performance of different bacteria immobilized in natural fibers for self-healing in concrete	Lino		+61		0,12
		Coco				
		Yute				
	Coupling behavior of antogenous and antonomous self-healing techniques for durable concrete	PVA		-33		1,0;1,5;2,0
FIBRAS Y NANOCÁPSULAS	Multi-functional cementitious composites with sensing and healing capabilities	Carbono		+7,4		1
	Effects of Alumina Nanofibers and Cellulose Nanocrystals on Durability and Self-Healing Capacity of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concretes	Acero Azichem Readymix 200				1,5

El impacto de la inclusión de fibras naturales en la resistencia a la compresión de hormigones, es en

gran parte dependiente del porcentaje (dosis) y tipo de fibra. Ya que una alta adición de estas fibras puede causar la formación de

aglomeración, lo que puede crear cavidades o porosidades internas, produciendo vacíos dentro del hormigón lo que puede afectar la resistencia a la compresión(14; 43), Además las fibras naturales al ser hidrofílicas y presentar una capacidad de absorción elevada puede reportar afectaciones en la trabajabilidad y la compactación de la mezcla, lo que también puede impactar a la resistencia a la compresión (1; 7). De manera general, la dosis recomendada por las investigaciones para fibras naturales suele variar del 1% al 2% con respecto al volumen del conglomerante o del 0.4% al 0.5% con respecto al volumen de hormigón total, para lograr una resistencia a la compresión destacable(14; 17; 29).

Por otro lado, en fibras sintéticas, su dosificación puede dividirse en función del tipo de matriz ya que el impacto de la fibra es diferente en un hormigón de resistencia normal con respecto a un hormigón de alto rendimiento. Para hormigones de resistencia normal un porcentaje adecuado de fibras sintéticas oscila entre 0.3% a 1.0% con respecto al volumen de hormigón(13; 19), Por

otra parte, en hormigones del alto rendimiento el objetivo principal de agregar fibra sintético no es beneficiar la resistencia a la compresión sino la ductilidad y el control de fisuración, por lo que es recurrente utilizar entre 1.5% al 3% de fibra sintética con respecto al volumen del hormigón final.

Al hablar de la resistencia a la tracción y a la flexión la incorporación de las fibras naturales o sintéticas es una técnica adecuada para ayudar a la naturaleza frágil del hormigón, mejorando estas propiedades, si se enfoca en las fibras naturales se puede apreciar en la mayoría de casos un aumento en la resistencia a tracción y flexión, esto por el efecto se produce principalmente por dos mecanismos, la transferencia de carga y el control de fisuración (1;7). La transferencia de carga se inicia tras la formación de una fisura en la matriz de hormigón, cuando dicha fisura es interceptada por una fibra, se establece un mecanismo de puenteo que redistribuye los esfuerzos de tracción desde la matriz cementicia hacia el refuerzo fibroso (7,81). El control de fisuras se puede deber a la capacidad de las fibras naturales para restringir el ancho de

fisura además de retrasar y limitar su propagación debido al enlace interfacial o adhesión que se produce entre la fibra natural y la matriz cementicia(7). El porcentaje de fibras orgánicas añadidas en hormigones que determinaron resistencia a la flexión y tracción ronda un 0.5% del volumen total de la mezcla como por ejemplo en fibras de celulosa, kenaf, coco, maíz (1;8;4)

Para fibras sintéticas los mecanismos de puenteo y de transferencia de carga son los encargados principales de beneficiar la resistencia a la tracción y flexión. El efecto de puente controla la formación y limita el crecimiento de las fisuras. Y la transferencia de

carga que se produce cuando la matriz se fisura, pasando los esfuerzos a las fibras sintéticas, lo que puede hasta mejorar la resistencia de la muestra post-fisuración (25; 13; 47). El porcentaje de fibras sintéticas utilizadas se mantiene el criterio de la resistencia del hormigón, para hormigones de resistencia normal el porcentaje varía de 0.3% a 0.75% y para hormigones de alta resistencia de 1.5% al 3.0%.

3.3 Resultados de ensayos para medir la reparación del hormigón.

En la tabla 4 se detalla la capacidad de reparación del hormigón mediante deferentes metodologías para medir este proceso.

Tabla 4. Resultado de ensayos para medir autorreparación en el hormigón

Comp.	Artículo	Tipo de Fibra	Ensayo		Ensayo	
FIBRA	Influence of cellulose fiber addition on self-healing and water permeability of concrete	Ultra Fiber 500	Velocidad de pulso ultrasónico(UPV)	+48%	Profundidad de penetracion agua	+24%
	The Self-Sealing Capacity of Environmentally Friendly, Highly Damped, Fibre-Reinforced Concrete	Duras S500	Velocidad de pulso ultrasónico(UPV)	+2,32%	Inspección visual	+100%
	Self-Healing Potential and Post-Cracking Tensile Behavior of	Macrofilamento Microfibra	Velocidad de pulso ultrasónico(UPV)	+48,7%	Permeabilidad de agua	+23,4

FIBRA Y CENIZA	Polypropylene Fiber-Reinforced Cementitious Composites								
	Comparative Study of Coconut and Corn Fibers as Aggregate in Concrete	Coco Maíz							
	The effect of using data palm waste fibers in plain concrete mixture by comparing three pre-treatment techniques	Palma dátiles	de	Tasa de resistencia residual a la flexión	+97%				
	Effects of basalt fiber reinforced polymer minibars on the flexural behavior of pre-cracked UHPC after chloride induced corrosion	Basalto Acero		Tasa de resistencia residual a la flexión Tasa de resistencia residual a la flexión	+89,1% +81,7%				
	Improvement in the strength of concrete reinforced with agriculture fibers: Assessment on mechanical properties and microstructure analysis	Cáñamo Coco Banana Yute Paja de arroz							
	Mechanical and microstructure properties of cassava peel ash-based kenaf bio-fibrous concrete composites	Biofibra kenaf	de	Resistencia a la tracción	+27,3%				
	Mechanical Properties of Self-Compacting Lightweight Concrete Containing Organic Waste Ash	Acero		Resistencia a la tracción	+36,6%				
	Enhancing the Strength Properties of Concrete Using Coconut Fiber and Coconut Fiber Ash	Coco							
	Enhancing the self-healing performance of engineered cementitious composites in harsh environment	Polietileno de peso molecular ultra alto	de	Tasa de resistencia residual a la tracción	+98,7%	Inspección visual	+92,86%		

FIBRA Y BACTERIAS	through cementitious matrix optimization and crack width controlling					
	Effect of silica fume on fracture analysis, durability performance and embodied carbon fiber-reinforced self-healed concrete	PVA	Tasa de resistencia residual a la flexión	+150%		
	Self-repairing of concrete cracks by using bacteria and basalt fiber	Basalto	Tasa de resistencia residual a compresión	+83,3%		
	Cellulose fiber as bacteria-carrier in mortar: Self-healing quantification using UPV	Ultra Fiber 500	Velocidad de pulso ultrasónico(UPV)	+15,2%		
	Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete	Polipropileno	Sorptividad	Muy baja	Inspección visual	+43,1
		PVA	Sorptividad	+15%	Inspección visual	+64,6%
	Exploring the coupled mechanism of fibers and bacteria on self-healing concrete from bacterial extracellular polymeric substances (EPS)	Polipropileno	Tasa de absorción	+24%	Tasa de resistencia residual a flexión	+28%
	Self-healing assessment and variability in plain and recycled tyre fiber reinforced concrete based on tensile splitting test	Acero	Inspección visual	+50%		
	Depth-dependent self-healing capacity and mechanism of cracked fiber-reinforced concrete by bacterial community	Polímero	Tasa de resistencia residual a tracción	+22%	Tasa de absorción	+37,9%
	Self-healing of macroscopic cracks in concrete by cellulose fiber carried microbes	Ultra Fiber 500	Tasa de resistencia residual a tracción	+70%	Tasa de absorción	+67,5%

FIBRAS Y MEZCLAS CRISTALINAS	Fracture toughness parameters to assess crack healing capacity of fiber reinforced concrete under repeated cracking-healing cycles	Acero	Tasa de resistencia residual a tracción	+100%	Inspección visual	+60% a 93%
	Experimental investigation on self healing of fibre reinforced concrete	Nylon	Tasa de resistencia residual a compresión	+80,3%	Inspección visual	+78,6%
FIBRAS, CENIZAS Y BACTERIAS	Comparative performance of different bacteria immobilized in natural fibers for self-healing in concrete	Lino	Tasa de resistencia residual a compresión	+95,1%	Inspección visual	+21,6
		Coco	Tasa de resistencia residual a compresión	+98,4%	Inspección visual	+12,5
		Yute	Tasa de resistencia residual a compresión	+89	Inspección visual	+12,5
	Coupling behavior of antogenous and antonomous self-healing techniques for durable concrete	PVA	Tasa de resistencia residual a compresión	+148%	Tasa de resistencia residual a flexión	+112%
FIBRAS Y NANOCÁPSULAS	Multi-functional cementitious composites with sensing and healing capabilities	Carbono	Tasa de resistencia residual a compresión	+7,4%		
	Effects of Alumina Nanofibers and Cellulose Nanocrystals on Durability and Self-Healing Capacity of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concretes	Acero Azichem Readymix 200	Eficiencia de curación	+97,1%	Inspección visual	100%

Al hablar de las fibras orgánicas cortas, muestran un efecto en el proceso de reparación del hormigón, esto puede atribuirse a diferentes mecanismos que ocurren en el hormigón con fibras, los más reiterativos en las investigaciones estudiadas son:

1. Restricción de ancho de fisura, mecanismo fundamental para favorecer la reparación autógena, un ejemplo se produjo en la investigación (11), donde la microfibra se convirtió en un elemento dentro del hormigón para restringir el ancho de fisura durante las fase de retracción plástica,

reduciendo este agrietamiento hasta en un 85% con respecto al hormigón sin fibras, por otro tanto el coeficiente de permeabilidad y la velocidad de pulso ultrasónico se vieron favorecidos, entre el 42% y el 48.7% respectivamente con respecto al hormigón sin fibras. (24; 11; 43)

2. Reserva de agua y curado interno, debido a la naturaleza hidrofílica de las fibras naturales (con porcentajes de absorción de hasta el 85% de peso). Se convierten en reservorios de agua dentro de la matriz de hormigón, lo que mejora el curado interno y asegura la disponibilidad de humedad necesaria para una hidratación continua de las partículas de cemento sin reaccionar, este efecto es medido en (24; 11) donde se produce una recuperación de resistencia a compresión a largo plazo, ya que a 14 días la reducción en la resistencia a la compresión fue de 37.39% mientras que a 28 días fue de 25.59%.

Las fibras orgánicas largas no solo actúan como refuerzos sino también puede intervenir en el proceso de autocuración del hormigón mediante la combinación de mecanismo fisicoquímicos y mecánicos, el más recurrente en las investigaciones es:

Trasferencia de esfuerzos que se produce cuando el hormigón (material con fragilidad latente) se fisura por la aplicación de esfuerzos, la carga que la matriz no puede soportar es transferida por las fibras orgánicas que atraviesan la apertura, siempre y cuando la adherencia entre la fibra-matriz sea adecuada, el refuerzo actúa como un puente de esfuerzos que sujeta ambas caras de la grieta, limitando el ancho de fisura y previniendo la expansión sin control de daño. Como por ejemplo con la fibra de sisal, en donde se determinó que ejerce un efecto puente que restringe lateralmente el ancho de la grieta, logrando un aumento del 30.9% de resistencia a la flexión y una reducción en la retracción lineal de 58.9%. Otro ejemplo se produjo con la bio-fibra de kenaf con longitudes de hasta 5cm, estas demostraron que actúan sujetando las caras de la fisura mediante esfuerzos de tracción lo que nos solo incremento la capacidad de transferencia de carga, sino que menora los esfuerzos en las zonas de microfisuración.(12; 18; 48)

Por otro lado al hablar de fibra sintéticas se puede apreciar diferentes mecanismos que

favorecen a la capacidad de autoreparación del hormigón, en el caso de las microfibras se habla de un control de iniciación de microfisuras, el cual se produce por una elevada superficie específica y espaciamiento estrecho de la microfibra, debido a su pequeño diámetro y gran cantidad por unidad de volumen, lo que garantiza una distribución mucho más densa dentro de la matriz cementicia, lo que incrementa la probabilidad de interceptar alguna microfisura reduciendo el espacio libre de la matriz donde la grieta podría crecer si oposición (24; 17). Como por ejemplo en microfibra de polipropileno (6mm de longitud) donde vio una reducción de hasta el 50% en la tasa de absorción de agua, esto se atribuye al aumento de la tortuosidad y rugosidad de las grietas, lo que significa que el camino que el agua debe recorrer se vuelve mucho más complejo y estrecho, reduciendo drásticamente la tasa a la que el líquido atraviesa el material (25).

Por último, al centrarse en macrofibras sintéticas, el control de propagación de macrofisuras se produce principalmente a través del

mecanismo de Efecto Puente ya que puede transformar una grieta estructuralmente peligrosa en una red de microfisura estables que el hormigón podría sellar de forma autónomo. Lo que permite este puenteo entre grietas es garantizar una transferencia de esfuerzos ya que las macrofibras pueden actuar como tirantes mecánicos que mantiene unidas las dos caras de fisura, además de una restricción del ancho de fisura debido a la longitud y adherencia (18; 19; 33) . Un ejemplo de este efecto se produjo en la macrofibras de Nylon donde el uso de 1% resultó en el incremento de la resistencia a la compresión del 21.2% tras 28 días de curado. Además, esta fibras ayudaron a recuperar el 62.3% de las resistencia a la tracción por hendidamiento tras el proceso de autorreparación del hormigón (31).

4. Conclusiones

Se determinó el gran potencial que tiene el uso de fibras para el mejoramiento de la capacidad autorreparativa del hormigón, en función del análisis de características como la durabilidad,

recuperación de resistencia y sellado de fisuras.

Se ha logrado ofrecer un panorama integral sobre las múltiples técnicas de diseño de hormigones autorreparables, incorporando tanto fibras como combinaciones de fibras con aditivos adicionales. A través de tablas comparativas que resumen los resultados obtenidos, se han destacado las características más relevantes que deben considerarse al momento de diseñar mezclas. Esta información no solo contribuye al avance de la investigación en este ámbito, sino que también sirve como guía práctica para ingenieros y profesionales en la construcción, facilitando la elección de las estrategias más efectivas para optimizar la durabilidad y sostenibilidad de las estructuras de hormigón.

De acuerdo con los criterios establecidos por los autores analizados, tanto las fibras orgánicas como inorgánicas benefician la autoreparación del hormigón, cada una con sus características afecta a distintas propiedades, por lo que previo a la utilización de fibras en dosificaciones se debe considerar los factores críticos a los que se

verán sometidos los elementos estructurales. Se puede destacar que la fibra Ultra Fiber 500 a pesar de ser de uso comercial no presenta mejoras en las propiedades mecánicas del hormigón debido a que, al ser una microfibra, únicamente previene el agrietamiento en el fraguado. Las fibras de acero por otra parte en conjunto con bacterias disminuyen su resistencia a la flexión y tracción, lo que resulta intrigante ya que el acero es el material más utilizado con el hormigón para compensar estas propiedades.

Este estudio demuestra que la integración de fibras y aditivos no es solo una mejora técnica, sino un cambio hacia infraestructuras con mayor durabilidad. Se destaca la capacidad de las fibras de celulosa para actuar como agentes de curado interno, al gestionar la humedad desde el interior de la matriz, estas fibras garantizan una maduración uniforme que trasciende las limitaciones del hormigón convencional, asegurando estructuras con una vida útil extendida y un menor impacto ambiental.

La longitud de las fibras es un factor crítico; una mayor longitud proporciona mayor adherencia entre matriz fibra lo que beneficia principalmente el comportamiento mecánico de los hormigones autoreparados, mientras que las fibra de menor longitud pueden ejercer un control anticipado de microfisuración lo que puede beneficiar en propiedades de durabilidad como la estanquidad y porosidad, siendo este un aspecto clave a considerar en el diseño de mezclas que buscan mejorar la resistencia mecánica.

Bibliografía

1. Zhang L, Zheng M, Zhao D, Feng Y. 2024. A review of novel self-healing concrete technologies. *Journal of Building Engineering*. 89:109331. <https://doi.org/10.1016/J.JOB E.2024.109331>
2. Wang W, Yang Y, Wang Z, Wang Q, Shao R, Funda Akbulut Z, Tawfik TA, Smarzewski P, Guler S. 2025. Advancing Hybrid Fiber-Reinforced Concrete: Performance, Crack Resistance Mechanism, and Future Innovations. *Buildings* 2025, Vol 15, Page 1247. 15(8):1247. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS15081247>
3. Wong PY, Mal J, Sandak A, Luo L, Jian J, Pradhan N. 2024. Advances in microbial self-healing concrete: A critical review of mechanisms, developments, and future directions. *Sci Total Environ*. 947:174553. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.174553>
4. Han C, Pang J, Hu S, Yang C. 2024. Study on static and dynamic mechanical properties and microstructure of silica fume-polypropylene fiber modified rubber concrete. *Sci Rep*. 14(1):12573. <https://doi.org/10.1038/S41598-024-63341-Z>
5. Vedrtnam A, Palou MT, Varela H, Gunwant D, Kalauni K, Barluenga G. 2025. Experimental and numerical study on post-fire self-healing concrete for enhanced durability. *Scientific Reports* 2025 15:1. 15(1):1–30. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94331-4>
6. Lahmann D, Edvardsen C, Kessler S. 2023. Autogenous self-healing of concrete: Experimental design and test methods><A review. *Engineering Reports*. 5(1):e12565.

- <https://doi.org/10.1002/ENG2.12565>
7. Rajczakowska M, Habermehl-Cwirzen K, Hedlund H, Cwirzen A. 2019. Autogenous Self-Healing: A Better Solution for Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 31(9):03119001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002764](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002764)
8. Deeba S, Ammasi AK. 2024. State-of-the-art review on self-healing in mortar, concrete, and composites. *Case Studies in Construction Materials*. 20:e03298. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2024.E03298>
9. Helal Z, Salim H, Ahmad SSE, Elemam H, Mohamed AIH, Elmahdy MAR. 2024. Sustainable bacteria-based self-healing steel fiber reinforced concrete. *Case Studies in Construction Materials*. 20:e03389. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03389>
10. Hanna J. 2024. Self-Healing Concrete Techniques and Technologies and Applications. *Recent Progress in Materials 2024*, Vol 6, 006. 6(1):1–20. <https://doi.org/10.21926/RPM.2401006>
11. Singh H, Gupta R. 2020. Influence of cellulose fiber addition on self-healing and water permeability of concrete. *Case Studies in Construction Materials*. 12:e00324. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2019.E00324>
12. Huang X, Ge J, Kaewunruen S, Su Q. 2020. The Self-Sealing Capacity of Environmentally Friendly, Highly Damped, Fibre-Reinforced Concrete. *Materials 2020*, Vol 13, Page 298. 13(2):298. <https://doi.org/10.3390/MA13020298>
13. Mohit G, Pejman A, Rishi G. 2021. Self-Healing Potential and Post-Cracking Tensile Behavior of Polypropylene Fiber-Reinforced Cementitious Composites. *Composites Science*. 5. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.06.051>
14. Escobar GB, Moran EV, Solorzano WM, Perdomo ME. 2023. Comparative Study of Coconut and Corn Fibers as Aggregate in Concrete. *Proceedings of 2023 IEEE Central America and Panama Student Conference, CONESCAPAN 2023*.:70–75. <https://doi.org/10.1109/CONECAPAN60431.2023.10328414>
15. Moawad DRM, Moussa RR. 2023. The effect of using data palm waste fibers in plain concrete mixture by

- comparing three pre-treatment techniques. *Sci Rep.* 13(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-023-37860-0>
16. Chen Z, Wang X, Ding L, Niu F, Jiang K, Wang H, Wu Z. 2024. Effects of basalt fiber reinforced polymer minibars on the flexural behavior of pre-cracked UHPC after chloride induced corrosion. *Journal of Building Engineering.* 82:108382. <https://doi.org/10.1016/J.JOB E.2023.108382>
17. Ahmad J, Mohammed Jebur Y, Tayyab Naqash M, Sheraz M, Hakamy A, Farouk Deifalla A. 2024. Improvement in the strength of concrete reinforced with agriculture fibers: Assessment on mechanical properties and microstructure analysis. *J Eng Fiber Fabr.* 19. <https://doi.org/10.1177/15589250241226480>
18. Ogunbode EB, Nyakuma BB, Jimoh RA, Lawal TA, Nmadu HG. 2021. Mechanical and microstructure properties of cassava peel ash-based kenaf bio-fibrous concrete composites. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2021 13:8. 13(8):6515–6525. <https://doi.org/10.1007/S13399-021-01588-6>
19. Hajmohammadian Baghban M, Vahid S, Tosee R, Valerievich KA, Faridmehr I, Hassanipour A. 2022. Mechanical Properties of Self-Compacting Lightweight Concrete Containing Organic Waste Ash. *Engineered Science.* 20:275–283. <https://doi.org/10.30919/es8d747>
20. Vagestan PK, Periyasamy M, Pathikonda P, Kiran U, Yadav SP, Zahid M, Avula D. 2024. Enhancing the strength properties of concrete using coconut fiber and coconut fiber ash. *AIP Conf Proc.* 3037(1). <https://doi.org/10.1063/5.0196073>
21. Ma W, Chen T, Deng P, Guo S. 2024. Enhancing the self-healing performance of engineered cementitious composites in harsh environment through cementitious matrix optimization and crack width controlling. *Journal of Building Engineering.* 94:109732. <https://doi.org/10.1016/J.JOB E.2024.109732>
22. Buller AS, Abro F ul R, Ali M, Ali T, Bheel N. 2024. Effect of silica fume on fracture analysis, durability performance and embodied carbon of fiber-reinforced self-healed concrete. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics.* 130:104333.

- <https://doi.org/10.1016/J.TAFMEC.2024.104333>
23. Vijay K, Murmu M. 2019. Self-repairing of concrete cracks by using bacteria and basalt fiber. *SN Applied Sciences* 2019 1:11. 1(11):1344-. <https://doi.org/10.1007/S42452-019-1404-5>
24. Singh H, Gupta R. 2019. Cellulose fiber as bacteria-carrier in mortar: Self-healing quantification using UPV. *Journal of Building Engineering*. 28:101090. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.101090>
25. Feng J, Su Y, Qian C. 2019. Coupled effect of PP fiber, PVA fiber and bacteria on self-healing efficiency of early-age cracks in concrete. *Constr Build Mater*. 228:116810. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.116810>
26. Su Y, Qian C, Rui Y, Feng J. 2020. Exploring the coupled mechanism of fibers and bacteria on self-healing concrete from bacterial extracellular polymeric substances (EPS). *Cem Concr Compos*. 116:103896. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2020.103896>
27. Neves A, Almeida JAPP, Miranda T, Cunha VMCF, Pereira E. 2024. Self-healing assessment and variability in plain and recycled tyre fiber reinforced concrete based on tensile splitting test. *Journal of Building Engineering*. 84:108567. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.108567>
28. Xiang J, Qu L, Fei X, Qiu J, Kong X. 2024. Depth-dependent self-healing capacity and mechanism of cracked fiber-reinforced concrete by bacterial community. *Journal of Building Engineering*. 84:108485. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.108485>
29. Igbokwe E, Ibekwe S, Mensah P, Agu O, Li G. 2024. Self-healing of macroscopic cracks in concrete by cellulose fiber carried microbes. *Journal of Building Engineering*. 90:109383. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2024.109383>
30. Cuenca E, Ferrara L. 2019. Fracture toughness parameters to assess crack healing capacity of fiber reinforced concrete under repeated cracking-healing cycles. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 106:102468. <https://doi.org/10.1016/J.TAFMEC.2019.102468>
31. Neeraja P, Prasad BSRK. 2023. Experimental Investigation on Self Healing of Fibre Reinforced Concrete.

- IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 1193(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1193/1/012010>
32. Rauf M, Khaliq W, Khushnood RA, Ahmed I. 2020. Comparative performance of different bacteria immobilized in natural fibers for self-healing in concrete. *Constr Build Mater.* 258:119578. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119578>
 33. Hassanin A, El-Nemr A, Shaaban HF, Saidani M, Shaaban IG. 2024. Coupling Behavior of Autogenous and Autonomous Self-Healing Techniques for Durable Concrete. *International Journal of Civil Engineering* 2024 22:6. 22(6):925–948. <https://doi.org/10.1007/S40999-023-00931-4>
 34. Siad H, Lachemi M, Sahmaran M, Hossain A. 2017. Multi-functional cementitious composites with sensing and healing capabilities. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction.* 4(1). <https://doi.org/10.14455/ISEC.RES.2017.101>
 35. Cuenca E, Criado M, Mercedes Giménez ;, María ;, Alonso C, Ferrara L. 2022. Effects of Alumina Nanofibers and Cellulose Nanocrystals on Durability and Self-Healing Capacity of Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concretes. *Journal of Materials in Civil Engineering.* 34(8):04022154. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004375](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004375)
 36. Ahmad Charles H Henager SH, Arockiasamy N Balaguru Claire Ball Hiram P Ball MP, Gordon Batson JB, Bentur Robert Craig AJ, Criswell ME, Freedman Richard Galer Melvyn A Galinat Vellore Gopalaratnam Antonio Jose Guerra Lloyd E Hackman M Nadim Hassoun Surendra P Shah Chairman D V Reddy George C Hoff Norman M Hyduk Roop L Jindal Colin D Johnston Charles W Josifek David R Lankard Brij M Mago ... SE, Melamed Nicholas Mitchell Henry J Molloy D R Morgan A E Naaman Stanley L Paul AC, Pearlman V Ramakrishnan James I Daniel Secretary SL. 1988. *Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete.* [place unknown]: ACI.
 37. György L. Balázs, Joost Walraven. 2010. *fib Bulletin* 65. [place unknown]: fib. https://www.fib-international.org/images/abstracts/table_contents/fib_bulletin_65_contents.pdf
 38. Bentur Arnon, Mindess Sidney. 2014. *Fibre reinforced cementitious composites.* 2nd

- ed. CRC Press, editor. [place unknown]: CRC Press. https://books.google.com/books/about/Fibre_Reinforced_Cementitious_Composites.html?id=zqJbJ4rNXvEC
39. Li VC, Wang S, Wu C. 2001. Tensile Strain-Hardening Behavior of Polyvinyl Alcohol Engineered Cementitious Composite (PVA-ECC). *Materials Journal*. 98(6):483–492. <https://doi.org/10.14359/10851>
40. Van Tittelboom K, De Belie N, Van Loo D, Jacobs P. 2011. Self-healing efficiency of cementitious materials containing tubular capsules filled with healing agent. *Cem Concr Compos*. 33(4):497–505. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2011.01.004>
41. Snoeck D, De Belie N. 2015. From straw in bricks to modern use of microfibers in cementitious composites for improved autogenous healing – A review. *Constr Build Mater*. 95:774–787. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.07.018>
42. Lee GW, Choi YC. 2022. Effect of abaca natural fiber on the setting behavior and autogenous shrinkage of cement composite. *Journal of Building Engineering*. 56:104719. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.104719>
43. Wu H, Shen A, Cheng Q, Cai Y, Ren G, Pan H, Deng S. 2023. A review of recent developments in application of plant fibers as reinforcements in concrete. *J Clean Prod*. 419:138265. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.138265>
44. Wu B, Liu Y, Feng P, Qiu J. 2023. Cracking can make concrete stronger – The coupled effect of matrix cracking and SiO₂-enhanced fiber/matrix interface healing on the tensile strength of FRCC. *Cem Concr Compos*. 138:105011. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2023.105011>
45. Öksüz N, Anıl Ö, Yildirim G, Aldemir A, Şahmaran M. 2022. Mechanical Characteristics of Self-Healing, Deflection-Hardening, High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites Using Coarse Aggregates. *ACI Mater J*. 119(2):155–170. <https://doi.org/10.14359/51734299>
46. Houshmand Khaneghahi M, Kamireddi D, Rahmaninezhad SA, Sadighi A, Schauer CL, Sales CM, Najafi AR, Cotton A, Street R, Farnam Y (Amir). 2023. Development of a nature-inspired polymeric

- fiber (BioFiber) for advanced delivery of self-healing agents into concrete. *Constr Build Mater.* 408:133765. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.133765>
47. Zhang C, Wang M, Liu R, Li X, Yan J, Du H. 2023. Enhancing self-healing efficiency of concrete using multifunctional granules and PVA fibers. *Journal of Building Engineering.* 76:107314. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107314>
48. Amjad H, Khushnood RA, Ahmad F. 2023. Enhanced fracture and durability resilience using bio-intrigged sisal fibers in concrete. *Journal of Building Engineering.* 76:107008. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107008>