

Revisión de la resistencia a la compresión del concreto incorporando variedades de adiciones de fibras

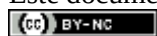
Review of the compressive strength of concrete incorporating varieties of fiber additions

Sócrates Pedro Muñoz Pérez^{1,*}, Fernando Sandoval Siesquen¹, Edwin Martínez Lara¹, José Pazos Antezana¹

¹Universidad Señor de Sipán. Campus Universitario, Km. 5 Carretera Pimentel. Chiclayo, Perú.

*Autor de correspondencia: msocrates@crece.uss.edu.pe

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 10 diciembre 2020 **Aceptado:** 18 enero 2021 **Publicado:** 18 febrero 2021

Resumen

El interés constante de lograr un concreto con mejores características ha llevado a investigadores a estudiar el uso de fibras. El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión del estado del arte sobre la resistencia de concretos incorporados con diferentes tipos de fibras, con la finalidad de proveer una síntesis de los resultados y discutir sobre la posibilidad de alcanzar resistencias de diseño específicas que puedan requerir los diferentes proyectos de ingeniería. Se hizo una revisión de 50 artículos indexados entre los años 2011 y 2020, distribuido de la siguiente manera: 18 artículos son de Scopus, 13 de ScienceDirect y 17 de Scielo; de los cuales se muestra los efectos del refuerzo de diferentes tipos de fibras y cómo influyen estas en la resistencia a la compresión. La revisión de los resultados constató que las fibras tienen potencial para mejorar la resistencia a la compresión del concreto y que dependerá del tipo de fibra, su contenido y la resistencia a la que se esté diseñado.

Palabras clave: Concreto, Fibras, Resistencia a la compresión, estructuras

Abstract

The constant interest in achieving a concrete with better characteristics has led researchers to study the use of fibers. The objective of this work is to carry out a state of arts review on the resistance of concretes incorporated with different types of fibers, in order to provide a synthesis of the results and discuss the possibility of reaching specific design resistance that different projects may require in engineering. A review of fifty articles indexed between the years 2011 and 2020 was made, distributed as follows: 18 articles were from Scopus, 13 from ScienceDirect and 17 from Scielo; observing the effects of the reinforcement of different types of fibers and how they influence the compressive strength. The review of the results showed that the fibers have the potential to improve the compressive strength of concrete and that it will depend on the type of fiber, its content and the resistance to which it is being designed.

Keywords: Concrete, Fibers, Compressive strength, structures

1. Introducción

Las estructuras construidas en zonas costeras habitualmente se encuentran sometidas a salpicaduras de olas y/o gradientes de humedad-temperatura que provocan la fisura del concreto y su posterior degradación debido a la formación de productos expansivos [1].

El hormigón estructural es propenso a las micro fisuras incluso antes de que la estructura esté sujeta a las cargas de diseño. Estas grietas aparecen principalmente debido a la contracción por secado y otras causas de cambios de volumen [2, 3]. Estas grietas de pequeña escala inducen grietas grandes, lo que resulta en una deformación inelástica del hormigón. Para reducir el desarrollo de tales microgrietas, a menudo se utilizan fibras de origen artificial y natural en el hormigón para fortalecerlo contra el agrietamiento [4]. El control de apertura de fisuras garantiza una mejora en la durabilidad estructural y resistencia del hormigón, reduciendo la permeabilidad del hormigón y la entrada de agentes agresivos (iones de cloruro y sulfatos), responsables de la corrosión de las barras de acero y la degradación del hormigón [5,6].

En las últimas décadas, el uso de concreto reforzado con fibras se ha ido incrementado en aplicaciones muy diversas, entre ellas los pisos industriales [7,8] y a la vez está ganando popularidad en todo el mundo debido a que la adición de fibra en las mezclas de concreto autocompactantes reduce las fallas por fragilidad en la matriz de concreto [9]. Además, controlan principalmente la propagación de grietas y limitan el ancho de la misma [10].

El uso de hormigón armado con fibras de acero es relativamente limitado en América Latina debido a su alto costo. Sin embargo, su rendimiento mecánico es muy útil en la construcción de estructuras de hormigón armado [11], que a la larga resulta ser muy económico el uso de las fibras de acero en el concreto porque al añadir las fibras de acero disminuyen los tiempos de construcción proporcionando mayor refuerzo por cortante y tenacidad en los muros de concreto [12]. Altas adiciones de fibras pueden dar lugar a problemas técnicos, como agrupamiento, menor trabajabilidad y formación de bolas, lo que resulta en una reducción de la resistencia y tenacidad del hormigón [13].

Las fibras de basalto son fibras minerales, que ofrecen mejoras en varias características en comparación con las fibras de vidrio. La incorporación de las fibras de basalto en el concreto es más económica que el uso de las fibras de carbono y vidrio por su proceso de fabricación, ya que para la fabricación de las fibras de basalto se emplea el mismo procedimiento que para las fibras de vidrio, pero con menor consumo de menos y sin aditivos [14].

La adición de barras de acero o de fibras en el concreto ayudan en las limitaciones respecto a su capacidad para resistir las tensiones de tracción, mejorando el desempeño del sistema estructural [15,16]. En comparación de las fibras de acero y vidrio, son las fibras de basalto las que ofrecen varias características mejores en el concreto [17]; una de ellas es que ofrece una mayor resistencia a la tracción del concreto [14]. También la adición de residuos de cáscara de coco, cenizas volantes y fibra de polipropileno muestra ciertas ventajas como menor peso muerto, fuerzas sísmicas reducidas, encofrado más liviano, cimientos de menor tamaño, mayor resistencia al fuego, aislamiento térmico, mejor absorción acústica, mayor resistencia a las heladas, mejor hidratación y facilidad de transporte [18]. Al añadir fibras metálicas a la mezcla de concreto, después de la rotura, éstas mejoran considerablemente las resistencias a impacto, fatiga y flexión donde las fibras actúan como un puente de transferencia de tensiones, reduciendo la concentración de tensiones en la punta de la grieta; además es una mezcla que supera la baja resistencia a la tensión y la ausencia de ductilidad del concreto convencional [19-21]. La adición de fibras de acero y de vidrio al concreto reduce su costo, se utiliza menos cemento y mejora algunas de sus propiedades como su

durabilidad, densidad, impermeabilidad, resistencia al ataque químico sobre todo de sulfatos y resistencia a la compresión [22], así como también la adición de las fibras de carbono que mejora eficazmente la resistencia a la flexión, a la compresión y a la rotura del concreto reforzado con fibras de carbono (CFRC) [23]. Aunque muchas veces no se logra la trabajabilidad deseada, se corrige modificando el diseño de mezcla [24].

El concreto reforzado con fibras de carbono es un material estructural fiable que brinda un mejor rendimiento en comparación con el concreto convencional. Al incorporar las fibras de carbono al concreto, mejora varias propiedades mecánicas, principalmente la resistencia al agrietamiento y la ductilidad [10].

Durante los últimos años, se han realizado diversos estudios para evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno, en los que el porcentaje de fibras ha variado entre 0,1 y 10% del volumen. El uso de concreto reforzado con fibra ha pasado de la experimentación a pequeña escala a aplicaciones de rutina en plantas de prefabricados y de campo que incluye la colocación de miles de metros cúbicos en todo el mundo [25].

Teniendo en cuenta los tipos de fibras añadidas al hormigón, las fibras sintéticas exhiben características funcionales similares a las de las fibras de acero al salvar las grietas formadas en el hormigón debido a acciones externas; sin embargo, las propiedades mecánicas del acero y las fibras sintéticas son muy diferentes y esto es pertinente al considerar el rendimiento posterior a la fisuración del hormigón de fibra [26,27]. Por otro lado, la fibra natural en forma de cabello humano, si se emplea en concreto, que es económicamente barato y con cierta disponibilidad, puede ayudar a minimizar los efectos como el desarrollo de microgrietas en el concreto [28,29].

En el presente trabajo se presenta una revisión del estado del arte sobre la resistencia de concretos incorporados con diferentes tipos de fibras, con la finalidad de proveer una síntesis de los resultados y, discutir sobre la posibilidad de alcanzar resistencias de diseño específicas que puedan requerir los diferentes proyectos de ingeniería.

2. Materiales y Métodos

Se realizó una revisión de la literatura científica publicada en la temática de 50 artículos con el propósito de realizar un análisis comparativo de las diversas investigaciones sobre la incorporación de 8 tipos de fibras en el concreto tales como: 1) acero, 2) polipropileno, 3) polietileno, 4) vidrio, 5) cabello humano, 6) carbono, 7) basalto 8) lana de oveja. Haciendo énfasis en la resistencia a la compresión del concreto, esta búsqueda de información se realizó en las bases de datos de Scopus, Scielo y ScienceDirect fundamentalmente. Un resumen de los resultados básicos obtenidos de 23 trabajos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1a. Comparación de la resistencia a la compresión con diferentes fibras al concreto

Tipo de fibra	Contenido de cemento (kg/m ³)	Relación agua cemento (a/c)	Tipo de cemento	kg/m ³ de fibra en concreto	F'c ¹	F'c ²	F'c ³	Referencia
					(MPa)			
Acero comercial			cemento Portland	50			30,6	
Acero de neumático	296	0,7	puzolánico de alta resistencia inicial	35	30	35	34,3	[30]
				50			34,4	
Neumático				7			30,7	
				10,5			33,9	
Acero	330	0,55		78	30	33,6	36,8	
	475	0,39			45	47,7	53,1	
Polipropileno	330	0,55	cemento Portland de uso general Tipo I	9	30	33,6	35,2	[31]
	475	0,39			45	47,7	49,2	
Vidrio	330	0,55		26	30	33,6	35,9	
	475	0,39			45	47,7	52,2	
Vidrio	390	0,55	Cemento Portland Ordinario	6,5	30	40	41,6	[32]
				13			39,5	
		0,33		2,3			44	
Polipropileno	440	0,34	cemento Portland ordinario	3,50			43,4	
				4,65	35	44,8	42,3	[33]
		0,35		5,8			41,5	
				7			40,3	
Acero				11,74			35,8	
Polipropileno	383	0,5	cemento Portland ordinario	1,53	26	31,8	35,4	[34]
Acero	321	0,58	Portland convencional Tipo I	30	25	38,1	36,7	[1]
				60			38,7	
				3,75			30,3	
Cabello Humano	375	0,5	cemento Portland ordinario	7,5			27	[35]
				11,25	NR	28	25	
				15			23	

F'c¹ : Resistencia del concreto de diseño en 28 días.

F'c² : Resistencia del concreto patrón en 28 días.

F'c³ : Resistencia del concreto con reemplazo de fibras en 28 días.

NR : No reportado.

Tabla 1b. Comparación de la resistencia a la compresión con diferentes fibras al concreto

Tipo de fibra	Contenido de cemento (kg/m³)	Relación agua cemento (a/c)	Tipo de cemento	kg/m³ de fibra en concreto	F'c¹	F'c²	F'c³	Referencias
					(MPa)			
Acero	600	0,28	Cemento Portland CEM II	62,8	78	78	82	[9]
				78,5			76	
				94,2			70	
				117,75			72	
Carbono	360	0,45	cemento Portland CEM	4,4	60	63	60	[10]
				8,8			66	
				13,2			69	
				17,6			69	
Polipropileno	300	0,42	cemento Portland	8,9	NR	31	31	[36]
				17,75			31	
				26,8			32	
				8,9			31	
				17,75			31	
				26,8			32	
Carbono	204	0,61	cemento Portland de grado 42,5	0,83	NR	52	60	[37]
				1,66			62	
				2,49			58	
Basalto (dispersión de haz)	388	0,5	cemento Portland	4 (0,15%)	NR	38	34	[38]
				8 (0,31%)			40	
				12 (0,46%)			38	
				4			38	
Basalto (minibares)				8			39	
				12			39	
Carbono	496	NR	Cemento Sulfoaluminato	31,2	NR	NR	47	[39]
				62,4			46	
				93,6			48	
				124,8			50	
Cabello Humano	NR	0,55	cemento Portland ordinario	1%	NR	30	34	[40]
				3%			38	
				5%			25	

F'c¹ : Resistencia del concreto de diseño en 28 días.

F'c² : Resistencia del concreto patrón en 28 días.

F'c³ : Resistencia del concreto con reemplazo de fibras en 28 días.

NR : No reportado.

Tabla 1c. Comparación de la resistencia a la compresión con diferentes fibras al concreto

Tipo de fibra	Contenido de cemento (kg/m³)	Relación agua cemento (a/c)	Tipo de cemento	kg/m³ de fibra en concreto	F'c¹	F'c²	F'c³	Referencias
					(MPa)			
Acero (Simple)	280	0,66	Cemento Portland tipo III	10	25	36	32	[41]
				20			30	
40				33				
50				35				
60				31				
70				2				
				9,7				
				31				
				27				
Fibra de carbono	370	0,5	Cemento Portland tipo II	7,4	36	32	37	[42]
Acero	460	NR	Cemento Sulfoaluminato	NR			45	[43]
				31,2			47	
				62,4			49	
				93,6			48	
				124,8			50	
Lana de oveja no tratada	236	0,5	Cemento Portland tipo I	4,72	25	26	23	[44]
7,07				18				
Lana de oveja modificada				1,18			27	
				2,36			23	

F'c¹ : Resistencia del concreto de diseño en 28 días.

F'c² : Resistencia del concreto patrón en 28 días.

F'c³ : Resistencia del concreto con reemplazo de fibras en 28 días.

NR : No reportado.

Tabla 1d. Comparación de la resistencia a la compresión con diferentes fibras al concreto

Tipo de fibra	Contenido de cemento (kg/m ³)	Relación agua cemento (a/c)	Tipo de cemento	kg/m ³ de fibra en concreto	F'c ¹	F'c ²	F'c ³	Referencias
						(MPa)		
Fibra de basalto	454	0,278	Cemento Portland tipo I	0,05	53	54	48	[45]
				0,1			46	
				0,2			45	
				0,3			41	
				0,05			55	
Fibra de basalto resistente a los álcalis				0,1			55	
				0,2			54	
				0,3			53	
Polipropileno	380		Cemento Portland	1,08		33	37	[46]
				2,16			38	
				3,24			40	
				4,32			44	
Basalto	413	0,5	cemento Portland ordinario	12,23	NR	43	45	[47]
				24,46			48	
Polipropileno	354,7	0,61	Cemento Portland tipo III	9,4	25	25	25	[48]
Polietileno				9,4			23	
vidrio	321	0,58	cemento Portland ordinario	0,8	20	20,4	24,2	[49]
				1,61			19,7	
				2,41			18	

F'c¹ : Resistencia del concreto de diseño en 28 días.

F'c² : Resistencia del concreto patrón en 28 días.

F'c³ : Resistencia del concreto con reemplazo de fibras en 28 días.

NR : No reportado.

3. Resultados y Discusión

La mayoría de los estudios encontrados se basan en un análisis de la resistencia a la compresión de todas las fibras que se incorporan en el concreto. En esta sección, mostramos los estudios más representativos y los que dieron los mejores resultados en cuanto a la resistencia del concreto según la Tabla 1.

Fibras de acero

Diversos estudios reportan la utilización de fibras de acero en hormigones. En los ensayos de resistencia a la compresión se constata que el concreto testigo presenta el mejor comportamiento a la compresión a los 28 días [30]; sin embargo, con el uso de 50 kg/m³ de fibras de acero, la resistencia a la compresión supera en 2% respecto la resistencia de diseño. Del mismo modo,

Carrillo reporta más de 2% la resistencia a la compresión con una dosificación de 60 kg/m^3 [1], pero según Yu aumenta en 3% la resistencia a la compresión con una dosificación de $50,2 \text{ kg/m}^3$ comparado con el concreto patrón [43].

Los resultados de Hussain en concreto de resistencia normal (CRN) como en concreto de alta resistencia (CAR) muestran que la resistencia a la compresión del CRN aumenta en un 9,6%, a una fracción de volumen del 1% de fibras acero (78 kg/m^3) [31]. La fibra de acero influye de manera negativa en el costo final del hormigón. El costo de CRN y CAR aumenta en un 82% y 67%, respectivamente, debido a la inclusión de fibra de acero al 1%. Esto se debe principalmente a que se requiere una masa de 78 kg/m^3 . De manera similar, el CAR experimenta una ganancia de 11,5% en resistencia a la compresión a una fracción de volumen de 1% (78 kg/m^3).

En la investigación de Vikrant, la resistencia a la compresión aumenta en 12% con una dosificación de $11,74 \text{ kg/m}^3$ de fibras de acero [34], al igual que Turk reporta aumento de la resistencia a la compresión en un 5,1% con una dosificación de $81,80 \text{ kg/m}^3$ de fibras de acero con respecto al concreto patrón [9].

En el caso de la investigación de Bauer, ninguna de las mezclas reforzadas con fibras alcanzó valores que superen la referencia (muestra patrón) con un $f'c$ de $36,4 \pm 2,5 \text{ MPa}$ [41], lo que indica que la adición de estos elementos no contribuyó al aumento de la resistencia a la compresión, y la adición de fibras provocó descensos medios del 14,3%.

Fibras de Polipropileno

En la investigación de Sadiqul, la adición de fibra de polipropileno de 0,1-0,3%, provocó una disminución en un 2-10% de la resistencia a la compresión [33], en comparación con el concreto de control. El contenido de fibra óptimo para la resistencia a la compresión fue del 0,1% ($2,30 \text{ kg/m}^3$) para una reducción de la resistencia a la compresión de aproximadamente el 2%. Hussain por su parte reporta estudios para el concreto de resistencia normal (CRN) y concreto de alta resistencia (CAR). La resistencia a la compresión del CRN aumento en un 5%, a una fracción de volumen del 1% de fibras (9 kg/m^3). De manera similar, el CAR experimenta una ganancia de 3,3% en resistencia a la compresión a una fracción de volumen de 1% (9 kg/m^3) de fibras de polipropileno [31]. Del mismo modo, en la investigación de Vikrant, la resistencia a la compresión aumento en 11% respecto al concreto patrón con una dosificación del 0,5% ($1,53 \text{ kg/m}^3$) de fibras de polipropileno [34], así como en la investigación de Liu una dosificación de 1,5% ($26,8 \text{ kg/m}^3$) de fibras de polipropileno aumentó la resistencia a la compresión en un 6% en comparación al concreto convencional [36] y según Lu con una dosificación de 1,8% de fibras de polipropileno incorporadas en el concreto aumenta la resistencia a la compresión en un 35% en comparación con el concreto patrón de $32,5 \text{ MPa}$ [46].

En el estudio de Amaral, en cuanto la resistencia de las probetas luego de estar expuestas a una temperatura de 200°C durante una hora en un horno, el concreto patrón presento una resistencia de $24,6 \pm 0,9 \text{ MPa}$ para la muestra con fibras de polipropileno, con un aumento de $0,5 \pm 0,9 \text{ MPa}$ de resistencia a la compresión [48].

Fibras de polietileno

En el citado trabajo de Amaral, la resistencia de las probetas luego de estar expuestas a una temperatura de 200°C durante una hora en un horno fue de $24,6 \pm 0,9 \text{ MPa}$ y para las muestras con fibras de polipropileno disminuyó a $23,4 \pm 0,6 \text{ MPa}$ de resistencia a la compresión [48]. Este comportamiento podría estar asociado al diámetro de las fibras, lo que resultó en una zona de

transición más interfacial entre la fibra de polietileno y el concreto, que suelen ser puntos débiles en el concreto.

En cambio, en la investigación de Hasan, en los 28 días todas las muestras alcanzaron del 99% al 100% de la resistencia diseñada. La muestra patrón obtuvo una resistencia de 40,56 MPa, con un 1% de fibra de polietileno fue de 41,07 MPa, con un 2% da 42,13 MPa y con un 3% da 41,60 MPa; la muestra patrón fue el concreto de menor resistencia. Además, en la ruptura se pudo apreciar la mejor ductilidad del concreto que lo mostraron las muestras con fibras de polietileno, siendo la muestra patrón la de mayor presencia de grietas en la prueba de compresión [50].

Fibras de vidrio

Ali observó que con una dosificación de $6,5 \text{ kg/m}^3$ de fibras de vidrio en el concreto, la resistencia a la compresión del concreto aumentó a los 28 días en 1,3% respecto a la mezcla patrón, en comparación a la dosificación de 13 kg/m^3 que disminuyó en un 0,5% [32]. Este comportamiento se puede explicar debido a la disminución en la densidad fresca del concreto a medida que aumenta el porcentaje.

Los resultados de Hussain en concreto de resistencia normal (CRN) como en concreto de alta resistencia (CAR) muestran que la resistencia a la compresión del CRN aumentó en un 6,9%, a una fracción de volumen del 1% de fibras vidrio (26 kg/m^3). De manera similar, el CAR experimenta una ganancia de 9,5% en resistencia a la compresión a una fracción de volumen de 1% (26 kg/m^3) de fibras de vidrio [31]. La adición de fibra proporciona un efecto de confinamiento a la matriz de aglutinante que ayuda a disminuir la deformación del material compuesto bajo fuerzas de compresión, lo que en consecuencia mejora la rigidez axial del material. El refuerzo de fibra también aumenta el costo de las mezclas al aumentar la demanda de plastificantes para compensar la pérdida de trabajabilidad.

Del mismo modo los resultados de Subandi en la resistencia a la compresión con porcentajes de 0%, 0,25%, 0,50 y 0,75% por volumen de cemento mostraron que con un 0% de fibras de vidrio a la edad de 28 días la resistencia a la compresión fue 20,2 MPa mientras que el porcentaje óptimo fue de 0,25% de fibras de vidrio, en donde la resistencia a la compresión fue de 24,6 MPa, superando en 21% al concreto patrón [49], lo que indica que el contenido de fibra de 0,25 % es el valor óptimo que se puede agregar a la mezcla de hormigón, llenando casi todas las cavidades existentes y sin contenido excesivo de fibra. La investigación de Lia constata que para una dosificación de 1,5% de fibras de vidrio incorporada en el concreto, se obtiene una resistencia a la compresión de 31,18 MPa aumentando en un 4,5% el f'_c a diferencia del concreto patrón o convencional que se obtuvo como resistencia a la compresión de 30,47 MPa [36]. Los resultados de esta investigación recomiendan estos hormigones reforzados con fibras de alto rendimiento ampliamente aplicados en las construcciones.

Fibras de cabello humano

Bheel estudió el efecto de un cabello humano (material de desecho) como fibra sobre las propiedades frescas, físicas y mecánicas del hormigón con 0%, 1%, 2%, 3% y 4% por volumen de cemento. El resultado indicó que la resistencia a la compresión se mejoró en un 8,15% al 1% de fibras de cabello humano pero la resistencia a la compresión se reducía al aumentar el contenido de fibra capilar [35]. Esta reducción de la resistencia puede deberse a una disminución de la densidad del hormigón con un porcentaje creciente de cabello humano. Del mismo modo, en la investigación de Santos se afirma que con el 3% de fibras de cabello humano se logra un incremento de la resistencia a la compresión de 30,26% en comparación con un concreto patrón de 29,5 MPa, con

una relación a/c de 0,55 [40]. El aumento adicional en la concentración de fibra superior al 3% condujo a fibras excesivas que aumentaron los espacios vacíos en el hormigón reduciendo la compactación de la mezcla, disminuyendo así la resistencia a la compresión.

Fibras de carbono

Los resultados del experimento de Xiaochu indican que la dosis óptima de fibra de carbono de 10 mm de largo incorporada en el concreto es de 0,24% respecto al volumen del concreto, aumentando en un 17,7% la resistencia a la compresión en comparación con el concreto patrón o concreto simple [39]. La resistencia a la compresión primero aumenta y luego disminuye con el aumento de la longitud de fibra de carbono.

Del mismo modo, en la investigación de Liu se demuestra que para una dosificación de 0,2% (1,66 kg/m³) de fibras de carbono incorporadas en el concreto, aumenta en un 19,5% la resistencia a la compresión en comparación con el concreto patrón de 52 MPa [37]. La adición adecuada de fibra de carbono puede mejorar eficazmente la capacidad de carga del hormigón bajo carga de compresión de impacto. En cambio, en la investigación de Souza *et al.* la resistencia a la compresión fue de 36,98 MPa para el concreto adicionado con fibra y 32,21 MPa para el concreto patrón [42]. Estos valores indican que la resistencia media a la compresión del concreto adicionado con fibras es mayor. El aumento en la resistencia a la compresión con un 2% de residuos de fibra de carbono se puede atribuir a dos factores; la mejora en la resistencia de la adherencia entre el cemento matriz y el agregado, y la disminución de la propagación de grietas internas en la estructura de concreto. La ganancia de resistencia mecánica permitiría reducir el consumo de cemento

Fibras de Basalto

Los resultados de Branston, muestran que el tipo de fibra de basalto que mejor resultado dio fue la dispersión de haz, con una dosificación de 0,31% (8 kg/m³) aumentando la resistencia a la compresión en un 4,5% en comparación con el concreto patrón de 37,9 MPa [38]. La adición de fibras aumentó la resistencia a la primera fisura del concreto sometido a cargas de flexión y de impacto.

Del mismo modo los resultados de Kumar, muestran que la resistencia a la compresión del concreto aumenta en un 12%, a una fracción de volumen del 1% de fibras basalto (24,46 kg/m³) en comparación con el concreto patrón de 43 MPa. El desarrollo de la resistencia del hormigón estuvo totalmente influenciado por la tasa de hidratación y los enlaces de las fibras [47]. Además, en la investigación de Li *et al.*, se evidenció que el concreto cuando contiene más 0,05% a 0,3% de fibra de basalto ordinario, disminuye en un 11,4%-45,5% de resistencia a la compresión en 28 días, en cambio con la fibra de basalto resistente a los álcalis y la resistencia a la compresión aumenta ligeramente. Esto se debe a que la fibra de basalto ordinario puede tener una buena adherencia con la matriz, pero no una buena resistencia a los álcalis [45].

Fibras de lana de oveja

En la investigación de Alyousef, la inclusión de fibras de lana de oveja en las mezclas de hormigón disminuyó la resistencia a la compresión. En los resultados de la prueba de asentamiento se pudo observar que la trabajabilidad de las mezclas de hormigón se reduce considerablemente con la adición de fibras de lana de oveja [44]. Sin embargo, la adición de fibras de lana de oveja mejoró la resistencia a la flexión, mejorando así el concreto con una mayor capacidad de absorción de

energía. Entre un 2-3% de lana de oveja no tratada y 0,5-1% de lana de oveja modificada se definieron como los niveles óptimos de adición en concreto.

Las adiciones de fibras antes descritas dejan en claro que la tendencia en lo que se refiere a tecnologías del concreto es a mejorar la resistencia a la compresión y otras propiedades mecánicas del concreto, que es el material de construcción más usado en el mundo. Existen condiciones en la industria para mediante el empleo de fibras lograr avances en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto, y que su empleo se continuo y generalizado.

4. Conclusiones

Mediante el análisis del estado del arte en la temática se concluye que la incorporación de fibras en el concreto logra mejorar la resistencia a la compresión. El empleo del 11,74 kg/m³ de fibras de acero muestra mejores resultados, logra superar la resistencia a la compresión requerida hasta en un 12%. La adición de 0,5% de fibras de polipropileno provoca un aumento en 11% de la resistencia a la compresión. Las fibras de vidrio alcanzan el mejor rendimiento con un porcentaje de 0,25 % por volumen de cemento, en donde la resistencia aumenta en 21%. En el caso de las fibras de cabello humano los resultados muestran que el mejor desempeño se obtiene con el 2%, logrando el incrementos de hasta el 16%. La mejor dosificación de fibras de carbono incorporadas en el concreto está entre un 0,2% y 0,25% con respecto al volumen del concreto, aumentando la resistencia a la compresión en un 19,5% y 17,7% con respecto al concreto patrón o de diseño. Las fibras de basalto alcanzan el mejor rendimiento con 1% por volumen de concreto, en donde la resistencia aumenta en 12%. Así mismo las fibras de polietileno generan mayores resistencias con una dosificación del 2%.

Referencias

1. Carrillo, J., Cárdenas, J., Aperador, W., *Propiedades mecánicas a flexión del concreto reforzado con fibras de acero bajo ambientes corrosivos*. Revista Ingeniería de Construcción, 2017. **32**: p. 59-72. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000200005>.
2. Xu, H., Shao, Z., Wang, Z., Cai, L., Li, Z., Jin, H., Chen, T., *Experimental study on mechanical properties of fiber reinforced concrete: Effect of cellulose fiber, polyvinyl alcohol fiber and polyolefin fiber*. Construction and Building Materials, 2020. **261**: p. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120610>.
3. Long, W., Lin, H., Chen, Z., Zhang, K., Wang, W., *Mechanical Properties of Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete*. Advanced Engineering Science, 2013. **470**: p. 797-801. DOI: <https://doi.org/10.4028>.
4. Ikramullah, M., Abdy, M., Swamy, G., Haripriya Z., *The impact of fly ash and structural fiber on the mechanical properties of concrete*. Materials Today: Proceedings, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.242>.
5. Buttignol, T., Fernandes, J., Bittencourt, T., Sousa, J., *Verificação de vigas de concreto armado reforçadas com fibras de aço no estado limite último*. Revista IBRACON de Estruturas y Materiales, 2018. **11**: p. 997-1024. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952018000500006>.
6. Yuan, T., Lee, J., Min, K., Yoon, Y., *Experimental investigation on mechanical properties of hybrid steel and polyethylene fiber-reinforced no-slump high-strength concrete*. International Journal of Polymer Science, 2019. **2019**: p. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/4737384>.
7. Meza de Luna, A., Ortiz, J., Peralta, L., Pacheco, J., *Estudio experimental de caracterización mecánica del concreto reforzado con fibras de acero y de polipropileno*. Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, 2014. **37**: p. 106-115.
8. Abdullah, Z., *Effect of fibers types on fresh properties and flexural toughness of self-compacting concrete*. Journal of Materials Research and Technology, 2020. **9**: p. 4147-4158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.042>.
9. Turk, K., Bassurucu, M., Bitkin, E., *Workability, strength and flexural toughness properties of hybrid steel fiber reinforced SCC with high-volume fiber*. Construction and Building Materials, 2020. **266**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120944>.

10. Kizilkanat, A., *Experimental evaluation of mechanical properties and fracture behavior of carbon fiber reinforced high strength concrete*. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 2016. **60**: p. 289-296. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPci.8509>.
11. Aperador, W., Carrillo, J., Cárdenas, J., *Effect of Chloride Ion on the Durability Properties of RC-65/35-BN Steel Fiber Reinforced Concrete*. Ingeniería Investigación y Tecnología, 2017. **18**: p. 139-147.
12. Carrillo, J., Cárdenas, J., Aperador, W., *Desempeño a tensión por compresión diametral del concreto reforzado con fibras de acero RC-65/35-BN sometido al efecto del ion cloruro*. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 2015. **30**(49-61). DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000200005>.
13. Sadik, Y., Bassam, T., Gokhan, C., *Experimental and modelling study of mixture design optimisation of glass fibre-reinforced concrete with combined utilisation of Taguchi and Extreme Vertices Design Techniques*. Journal of Materials Research and Technology, 2020. **9**: p. 2093-2106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.083>.
14. Khan, M., Cao, M., Ali, M., *Effect of basalt fibers on mechanical properties of calcium carbonate whisker-steel fiber reinforced concrete*. Construction and Building Materials, 2018. **192**: p. 742-753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.159>.
15. Christ, R., Pacheco, F., Ehrenbring, H., Quinino, U., Mancio, M., Tutikian, B., *Estudio del comportamiento mecánico del hormigón de ultra-altas prestaciones (UHPC) reforzado con fibras híbridas y con consumo reducido de cemento*. Revista Ingeniería de Construcción, 2019. **34**: p. 159-168. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000200159>.
16. Kim, J., Yoo, Y., Yoon, S., *Effects of geometry and hybrid ratio of steel and polyethylene fibers on the mechanical performance of ultra-high-performance fiber-reinforced cementitious composites*. Journal of Materials Research and Technology, 2019. **8**: p. 1835-1848. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.001>.
17. Fiore, V., Scalici, T., Di Bella, G., Valenza, A., *A review on basalt fibre and its composites*. Composites Part B: Engineering, 2015. **74**: p. 74-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.034>.
18. Prakash, R., Thenmozhi, R., Raman, S.N., Subramanian, C., *Fibre reinforced concrete containing waste coconut shell aggregate, fly ash and polypropylene fibre*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2020: p. 33-42. DOI: <https://dx.doi.org/10.17533/10.17533/udea.redin.20190403>.
19. González, N., Castaño, J., Alvarado, Y., Gasch, I., *Influence of fiber volume and subsequent curing on post - crack behavior of an ultra high performance concrete (UHPC)*. Revista Ingeniería de Construcción, 2014. **29**: p. 220-233. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000300001>.
20. Infant, X., Arunachalam, K., *Flexural behavior of fiber reinforced lightweight concrete*. Revista de la construcción, 2019. **18**: p. 536-544. DOI: <https://dx.doi.org/10.7764/rdlc.18.3.536>.
21. Köroglu, M.A., Ashour, A., *Mechanical properties of self-compacting concrete with recycled bead wires*. Revista de la construcción, 2019. **18**: p. 501-512. DOI: <https://dx.doi.org/10.7764/rdlc.18.3.501>.
22. Huaquisto, S., Belizario, G., *Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento*. Revista de Investigaciones Altoandinas, 2018. **20**: p. 225-234. DOI: <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.366>.
23. Guo, Z., Zhuang, C., Li, Z., Chen, Y., *Mechanical properties of carbon fiber reinforced concrete (CFRC) after exposure to high temperatures*. Composite Structures, 2020. **256**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113072>.
24. Leite, A.M., Castro, A.L., *Influence of the cementitious matrix on the behavior of fiber reinforced concrete*. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 2020. **13**: p. 543-562. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952020000300006>.
25. Mendoza, C., Aire, C., Dávila, P., *Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido*. Investigación y Desarrollo, 2011. **2**: p. 35-47.
26. Richardson, A., Coventry, K., Lamb, T., Mackenzie, D., *The addition of synthetic fibres to concrete to improve impact/ballistic toughness*. Construction and Building Materials, 2016. **1**: p. 612-621. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.024>.
27. Kiyanets, A., *Concrete with recycled polyethylene terephthalate fiber*. Magazine of Civil Engineering, 2018. **84**: p. 109-118. DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.84.11>.
28. James, A., Rasool, M., Ganesh, S., *Effect of hair fibre and GGBS on various properties of concrete-an experimental study*. International Journal of Civil Engineering and Technology, 2017. **8**: p. 648-653.

29. Khan, M., Ali, M., *Effectiveness of hair and wave polypropylene fibers for concrete roads*. Construction and Building Materials, 2018. **166**: p. 581-591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.167>.
30. Nazer, A., Honores, A., Chulak, P., Pavez, O., *Hormigón sustentable basado en fibras de neumáticos fuera de uso*. Revista internacional de contaminación ambiental, 2019. **35**: p. 723-729. DOI: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.03.17>.
31. Hussain, I., Ali, B., Akhtar, T., Jameel, M., Raza, S., *Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene)*. Case Studies in Construction Materials, 2020. **13**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00429>.
32. Ali, B., Ali Qureshi, L., *Combined effect of fly ash and glass fibers on mechanical performance of concrete*. Ned university journal of research, 2018. **15**: p. 91-100. DOI: <https://doi.org/10.35453/STMECH-2019-0002>.
33. Sadiqul Islam, G., Das Gupta, S., *Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber reinforced concrete*. International Journal of Sustainable Built Environment, 2016. **5**: p. 345-354. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijse.2016.05.007>.
34. Vikrant S, V., Kavita S, K., *Strength of Normal Concrete Using Metallic and Synthetic Fibers*. Procedia Engineering, 2013. **51**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.020>.
35. Bheel, N., Awoyera, P., Aluko, O., Mahro, S., Vilorio, A., Severiche, C., *Sustainable composite development: Novel use of human hair as fiber in concrete*. Case Studies in Construction Materials, 2020. **13**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00412>.
36. Liu, J., Jia, Y., Wang, J., *Experimental Study on Mechanical and Durability Properties of Glass and Polypropylene Fiber Reinforced Concrete*. Fibers and Polymers, 2019. **20**: p. 1900-1908. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-019-1028-9>.
37. Liu, G., Bai, E., Xu, J., Meng, B., Wang, T., Chang, S., *Study on dynamic mechanical properties of carbon fiber reinforced concrete*. Materials Science Forum, 2019. **976**: p. 180-185. DOI: <https://doi.org/10.4028>.
38. Branston, J., Das, S., Kenno, S.Y., Taylor, C., *Mechanical behaviour of basalt fibre reinforced concrete*. Construction and Building Materials, 2016. **124**: p. 878-886. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.009>.
39. Xiaochu, W., Jianpeng, Z., Hongtao, L., *Experimental research on mechanical behavior of carbon fiber reinforced concrete under different length of carbon fiber*. Advanced Materials Research, 2013. **641-642**: p. 398-402. DOI: <https://doi.org/10.4028/AMR.641-642.398>.
40. Santos, F.D., Taguba, M., Alzona, A., Basada, R., Elbit, J., Nones, G., Olido, K., Ramos, E., *Optimization of the compressive strength of hair fiber reinforced concrete using central composite design*. Serie de conferencias IOP: Ciencia e ingeniería de materiales, 2020. **771**. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/771/1/012059>.
41. Bauer, A.L., Ehrenbring, H., Schneider, D., Quinino, U.C., Tutikian, B., *Evaluation of the impact of two types of steel fibers (SE), mono and 3D, on concrete properties, when added isolated or blended*. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 2020. **13**: p. 464-482. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1983-41952020000300002>.
42. Souza, F.D., Couto, C., Silva, J.D., Mbiya, T., Lopes, V.T., *Influence of adding discontinuous and dispersed carbon fiber waste on concrete performance*. Journal of Cleaner Production, 2020. **273**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122920>.
43. Yu, W., Lin, M., Geng, G., Wei, N., Jia, L., *Study on mechanical properties of steel fiber reinforced concrete*. Applied Mechanics and Materials, 2013. **252**: p. 280-284. DOI: <https://doi.org/10.4028/AMM.252.280>.
44. Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Mohammadhosseini, H., Mohamed, A. M., Siddika, A., Alrshoudi, F., Alaskar, A., *Utilization of sheep wool as potential fibrous materials in the production of concrete composites*. Journal of Building Engineering, 2020. **30**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101216>.
45. Li, M., Gong, F., Wu, Z., *Study on mechanical properties of alkali-resistant basalt fiber reinforced concrete*. Construction and Building Materials, 2020. **245**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118424>.
46. Lu, C., *Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete pavement*. Advanced Materials Research, 2013. **739**. DOI: <https://doi.org/10.4028/AMR.739.264>.
47. Kumar, S., Oluwaseun, P., Kandasamy, T., Nagaraj, S., Murugesan, P., Ponnusamy, B., *Impact resistance of high strength chopped basalt fibre-reinforced concrete*. Revista de la construcción, 2018. **17**: p. 240-248. DOI: <https://dx.doi.org/10.7764/rdlc.17.2.240>.

48. Amaral, J.C., Moravia, W.G., *Thermal properties of polypropylene and high modulus polyethylene fibers reinforced concretes*. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 2020. **13**: p. 32-38. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952020000100004>
49. Subandi, Y.S., Damaiyanti, M., Azzahra, R.V., *Effect of Additional Fiberglass Fiber on Concrete Performance*. Science des Matériaux, 2019. **43**: p. 287-292. DOI: <https://doi.org/10.18280/acsm.430502>.
50. Hasan, D., Juhari, N., Rofi, M. H., & Albar, A., *The effect of polyethylene terephthalate (road barrier waste) in concrete for rigid pavement*. Journal of Physics: Conference Series, 2019. **1349**. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012009>.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses entre ellos, ni de los autores con otras instituciones relacionadas con el contenido del artículo.

Contribución de los autores

Sócrates Muñoz Pérez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Participó en la investigación, revisión y la redacción del manuscrito.

Fernando Edilberto Sandoval Siesquen. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1393-2267>

Participó en la investigación y revisión del manuscrito.

Edwin Martínez Lara. ORCID: 0000-0002-2990-9483.

Participó en la investigación y revisión del manuscrito.

José Pazos Antezana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8336-8489>

Participó en la investigación y revisión del manuscrito.