

Improvement of resistance to flexion and compression of concrete reinforced with steel fibers

Castillo-Garcia Caballero Luis Eloy¹, Ticona-Flores Mario Antonio², Jovanovic-Aguirre Jvan³
^{1,2,3} Universidad Privada del Norte, Perú, n00062070@upn.pe, n00233233@upn.pe, jvan.jovanovic@upn.edu.pe

Abstract– The main objective of the present investigation is to evaluate the influence of the steel fiber in concrete specimens with low resistance to compression and bending. For this, a systematic investigation of sources was carried out, selected under a criterion of exclusion and inclusion. Being useful 4 sources that gave us tests elaborated in different proportions of steel and / or characteristics of the concrete, for the time of 28 days of hardening. Likewise, the characteristics of steel are explained, as well as the concept of resistance to compression and bending. The results of this research showed the following: The presence of steel fibers in concrete improves flexural strength considerably, since an increase of 15 and 36% is observed, compared to concrete without fiber. Likewise, in the case of compressive strength, the variation in strength was not much compared to concrete without steel fiber.

Keywords: *Steel fiber, resistance, bending and compression.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Mejora de resistencia a la flexión y compresión de concreto reforzado con fibras de acero

Castillo-Garcia Caballero Luis Eloy¹, Ticona-Flores Mario Antonio², Jovanovic-Aguirre Jvan³
^{1,2,3} Universidad Privada del Norte, Perú, n00062070@upn.pe, n00233233@upn.pe, jvan.jovanovic@upn.edu.pe

Resumen– El objetivo principal de la presente investigación es evaluar la influencia de la fibra de acero en probetas de concreto con baja resistencia a compresión y flexión. Para ello se realizó una investigación sistemática de fuentes, seleccionadas bajo un criterio de exclusión e inclusión. Siendo útiles 4 fuentes que nos brindaron ensayos elaborados en diferentes proporciones de acero y/o características del concreto, para el tiempo de 28 días de endurecimiento. Asimismo, se explican las características del acero, así como el concepto de resistencia a la compresión y flexión. Los resultados de esta investigación arrojaron lo siguiente: La presencia de fibras de acero en el concreto mejora considerablemente la resistencia a la flexión, ya que se observa un incremento del 15 y 36%, en comparación con el concreto sin fibra. Así mismo, en el caso de la resistencia a compresión, la variación de la resistencia no fue mucha en comparación con el hormigón sin fibra de acero.

Palabras claves: Fibra de acero, resistencia, flexión y compresión.

I. INTRODUCCIÓN

Con el transcurso de los años en el ámbito de la construcción el concreto ha sido uno de los materiales más utilizados, gracias a que se adapta a distintas funciones, por su durabilidad y trabajabilidad, así como, a la resistencia mecánica que presenta. En múltiples países han desarrollado métodos para mejorar sus características, uno de ellos es el uso de concreto reforzado con fibras de acero que permiten tener resultados más eficientes en la aplicación en las estructuras [1] [2]. En la actualidad, las fibras de acero son usadas como el principal refuerzo para losas de piso industriales, segmentos de túneles, dovelas prefabricadas y cada día se revela como el mejor producto para carreteras que soportan tráfico pesado. Estas fibras se muestran como una alternativa diferente para el diseño y construcción de estructuras que requieran particularidades especiales un ejemplo de ello es la construcción de losas industriales, carreteras y proyectos donde se requiera sobrellevar las acciones sísmicas, incrementar la ductilidad y durabilidad de las estructuras que mejora la matriz del concreto cuando este se somete a esfuerzos de flexión, tracción y compresión; además de ofrecer rapidez en la ejecución de obra y economía, características que lo hacen muy atractivo y competitivo en la industria de la construcción (Crispin Doria & Macalopu Purisaca)[3]. La presente investigación se consideró como edificación esencial según la norma E 030, por ende, no posee debilidades estructurales.

Asimismo, el objetivo de este paper es determinar la resistencia a la compresión y flexión del concreto que es reforzado con fibras de acero que se evalúan por medio de ensayos que nos brinden una adecuada dosificación de fibras de acero y su resistencia con una mayor capacidad para absorber

energía y disminución del tamaño y número de grietas en la superficie.

Nuestra pregunta de equipo es ¿Cómo Influyen las fibras de acero en la compresión y flexión del concreto? Con respecto a la resistencia de compresión, se puede apreciar que la resistencia no tiende a aumentar mucho. A diferencia de la resistencia de flexión, donde se aprecia el incremento que tiene con la adición de la Fibra de acero (FA) en su mezcla, por ello se puede determinar que la fibra ayuda a aumentar su comportamiento mecánico.

El presente estudio consta de los siguientes temas: La primera es metodología que habla de los pasos seguidos en el desarrollo de la investigación considerando participantes, instrumentos, materiales y procedimiento realizado. En el segundo están los resultados del análisis de los ítems y se emplea una tabla para presentar a los participantes del estudio y sus características. En el tercero esta la discusión donde se consideraron cuatro aspectos esenciales: a) comunicar el principal hallazgo del estudio; b) interpretar comparativamente los hallazgos del estudio con resultados de investigaciones previas y cuestiones teóricas; c) comunicar las limitaciones del estudio; d) señalar las implicancias teóricas, prácticas o metodológicas del estudio.

II. METODOLOGÍA

La investigación se basó en el análisis teórico de revistas científicas, tesis, artículos científicos y diversas fuentes como revisión sistemática, debido a que el objetivo principal es responder a la pregunta planteada en el capítulo anterior. Por ello, se realizó un filtro de las búsquedas de las fuentes donde se recolectaron los datos de mayor importancia para la presente investigación. Teniendo en cuenta lo especificado se realizó las estrategias búsqueda se recolectó 2 tesis y 2 artículos de investigación de fuentes base.

Para seleccionar una adecuada información de las fuentes de investigación se tuvo que considerar los siguientes criterios para la inclusión o exclusión de la información como las que se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1
Criterios de inclusión y exclusión de fuentes.

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Palabras claves en el motor de búsqueda	Discrepancia en los objetivos e hipótesis
Material bibliográfico claro y conciso	Información incompleta o que se aleje del tema

Elaboración por especialistas en el tema	Más de 10 años de Antigüedad
Originalidad	
Información relacionada al curso de Tecnología del Concreto	

A continuación, en la Tabla 2, se presenta la base de datos y motor de búsqueda que usaremos para nuestra investigación, se presenta en tablas y se basó en la selección de 10 artículos:

TABLA 2
Estadística de Búsqueda

Motor de Búsqueda	Fuentes Usadas	Fuentes Descartadas
Scielo	1	2
Google Académico	3	2
Redalyc	1	1
Elsevier	0	1
SCOPUS	5	0
Total	10	6

Para una adecuada elaboración de los especímenes de concreto reforzado con fibra de acero se tuvo que recurrir a normas para el control de calidad de cada una de las investigaciones, los cuales se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3
Normas para el control de calidad

Fuentes	Tipos de ensayos	Normas
Aperador, W; Carrillo, J; Gonzales, G.	Resistencia a la Compresión y Resistencia a la flexión	ASTM C-39(1), ASTM C-1609(1)
Farfán, M; Pinedo, D; Araujo, J; Orbegoso, J	Resistencia a la Compresión	Método ACI Comité 211(1) NTP 400.017(2), NTP 400.012(2), 400.021(2), 400.022(2), ASTM D 2216-10(2)
Amaya, A; Ramirez, M.	Resistencia a la Compresión y Resistencia a la flexión	NTC 673, NTC 2871(1), ASTM C 78:2002(1)
Ñaupas, D; Sosa, D	Resistencia a la Compresión y Resistencia a la flexión	NTP 339.034 – ASTM C39(1), NTP 339.079 – ASTM C293(1)
Centeno, M, Arturo, C; Moreno, R,	Resistencia a la	ASTM C-39, ASTM C78

Eduardo. M	Compresión y Resistencia a la flexión	NTP 334, NTP 339
Crispín. J; Macalopu. D	Resistencia a la Compresión y Resistencia a la flexión	

Nota:

- (1) Las normas están relacionadas íntegramente a los ensayos de compresión y flexión elaborados por cada investigación.
- (2) Normas que están relacionadas al ensayo, pero que no corresponden al ensayo de flexión y compresión

III. RESULTADOS

Se destacan los resultados en sus propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero a los ensayos de compresión y flexión para especímenes de cilindro y viga, respectivamente. Además, para obtener una comparativa de la resistencia a la compresión usando fibras de acero en el concreto se tuvo que recurrir a la segunda fuente “Fibras de acero en la resistencia a la compresión del concreto” [4]. En la Tabla 4, se muestran los resultados obtenidos de las fibras/m3.

TABLA 4
Resultados de los pesos unitarios

Fibra/m3	Peso (kg)	Volumen (m3)	P.U. (kg/m3)
0 kg/m3	22,215	0,009358	2373.9
60 kg/m3	22,755	0,009358	2431.61
75 kg/m3	22,877	0,009358	2444.65
90 kg/m3	23,008	0,009358	2458.65
105 kg/m3	23,151	0,009358	2473.93

Nota. Fuente: [4].

Resistencia a la compresión a 28 días. El diseño con mayor resistencia a la compresión se mantiene en 90 Kg/m3 de inclusión de fibra de acero, obteniendo un f'_c de 288.55 Kg/cm2, la cual es un 31% mayor a la resistencia del concreto patrón. Asimismo, con una inclusión de fibra de acero de 60 Kg/m3, 75 Kg/m3 y 105 Kg/m3 aumenta con respecto al concreto patrón en 19%, 22% y 15% respectivamente, esta última inclusión decrece debido al exceso de la fibra de acero.

En la Fig. 1, se demuestra que la adición de fibras de acero de 90 Kg/m3 aporta a la resistencia a la flexión hasta en un 81% más a comparación del concreto patrón. En 60 Kg/m3 y 75 Kg/m3 se observa que aumentan en un 37 % y en 105 Kg/m3 aumenta un 50 % respecto al concreto patrón, sin embargo, sin embargo, disminuye en un 22% a diferencia de la mezcla con 90 Kg/m3.

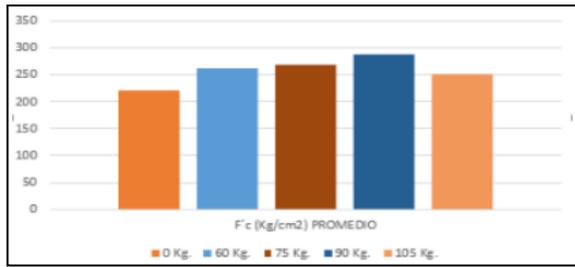


Fig. 1 Resistencia a la flexión [4].

En la Tabla 5, se muestran los datos obtenidos de la resistencia a la compresión de concreto de las 15 muestras.

TABLA 5
Resultado de la resistencia a la compresión del concreto

Fibra/m3	Probeta	Ø cm	Área cm	Carga u kg	f'c(kg/cm2) 28 días	f'c(kg/cm2) promedio
0 kg	P1	9,92	77,325	15815	204,527	220,397
	P2	9,91	77,205	18293	236,940	
	P3	9,94	77,616	17054	219,723	
60 kg	P4	10,17	81,180	18700	230,353	261,534
	P5	10,22	82,071	23332	284,290	
	P6	10,19	81,553	22016	269,960	
75 kg	P7	9,92	77,319	19966	258,228	258,765
	P8	9,95	77,689	20073	258,377	
	P9	9,94	77,600	20152	259,690	
90 kg	P10	9,93	77,455	23463	302,926	288,555
	P11	9,92	77,304	21267	275,109	
	P12	9,95	77,756	22365	287,629	
105 kg	P13	9,90	77,049	18080	234,654	252,357
	P14	9,91	77,086	20881	270,880	
	P15	9,93	77,444	19480	251,536	

Nota: Datos de la resistencia a la compresión del concreto con fibras de acero [4].

En la Tabla 6, se muestran los datos obtenidos de la resistencia a la flexión del concreto de las 15 muestras para viga.

TABLA 6.
Resultado de la resistencia a la flexión del concreto

Fibra/M3	Viga	P	L	B	D	Modulo De Rotura	Promedio
0 kg	VIGA 1	2374	33	15	15	23,21	43,69
	VIGA 2	5194	33	15	15	50,79	
	VIGA 3	5836	33	15	15	57,06	
60 kg	VIGA 1	4993	33	15	15	48,82	59,89
	VIGA 2	6751	33	15	15	66,01	
	VIGA 3	6630	33	15	15	64,83	
75 kg	VIGA 1	5641	33	15	15	55,16	62,21
	VIGA 2	6690	33	15	15	65,41	

	VIGA 3	6757	33	15	15	66,07	
90 kg	VIGA 1	8331	33	15	15	81,46	79,39
	VIGA 2	9071	33	15	15	88,69	
	VIGA 3	6956	33	15	15	68,01	
105 kg	VIGA 1	6618	33	15	15	64,71	65,34
	VIGA 2	6698	33	15	15	65,49	
	VIGA 3	6730	33	15	15	65,80	

Nota: Datos de la resistencia a la flexión del concreto con fibras de acero

Además, del concreto ensayado se puede observar en la Fig. 2, la disminución de desprendimiento de concreto al momento de ceder por las cargas 104 efectuadas por la prensa hidráulica, entonces tenemos un material que aportará en el confinamiento de refuerzos verticales y horizontales.



Fig. 2 Fractura del bloque de concreto [4].

Resistencia a la compresión a 28 días- Se realizaron los ensayos a compresión como indica la norma NTC 673 “Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”, en los laboratorios de la universidad católica de Colombia. Todos los cilindros ensayados a compresión fueron nombrados con letra y número para tener un orden de los resultados obtenidos, los cilindros de concreto reforzados con fibras están nombrados y numerados dependiendo de la fibra utilizada para el reforzamiento y el orden en el que han sido ensayados, las letras utilizadas son la inicial de la palabra fibra “F” acompañadas de la inicial de la macrofibra utilizada, por ejemplo acero “A”, por último la numeración va de 1 a 6 dependiendo el orden en el que fueron ensayados los cilindros de cada macrofibra, los cilindros de concreto fueron marcados con la inicial de concreto (C).

En la Tabla 7, observamos las especificaciones de los cilindros, esfuerzo máximo soportado por los cilindros y la curva de esfuerzo que presentan los cilindros de concreto reforzados con las diferentes fibras.

TABLA 7
Resultado de la resistencia a la compresión del concreto

Probeta		Diámetro (Mm)	Altura (Mm)	Peso (Kg)	F' C(Kg/Cm2) Promedio
SIN FIBRA	P1	100.38	204.93	3.818	251.91
	P2	101.12	204.91		
	P3	101.12	204.86		
	P4	101.16	215.49	3.884	
	P5	101.71	212.88		
	P6	101.45	212.94		
CON FIBRA	P1	100,17	203,87	3,784	253,708
	P2	100,29	203,41		
	P3	100,49	203,89		
	P4	101,14	203,91	3,785	
	P5	101,07	202,61		
	P6	101	202,48		

Nota: Fuente Propia

Resistencia a la flexión a 28 días- Para el ensayo a flexión está regido por la norma NTC 2871 [5], ya que enfoca en la ASTM C 78:2002 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), como se muestra en la Fig. 3, el método de ensayo consiste en aplicar cargas a los tercios medios de la luz, con el fin de calcular el módulo de rotura que define el esfuerzo máximo que soporta el espécimen [6].

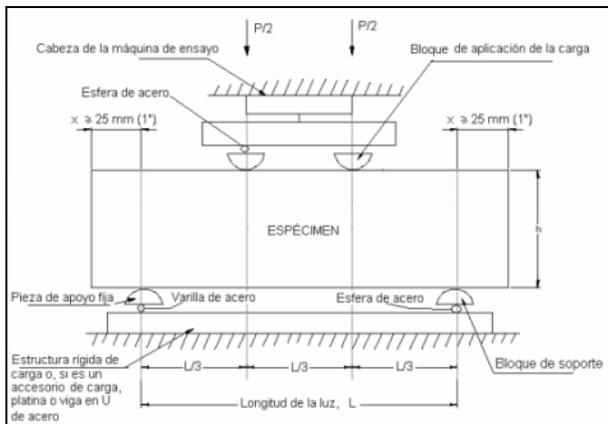


Fig. 3 Máquina de Ensayo [6]

Asimismo, en la Fig. 4, se puede apreciar cómo fue el comportamiento de la viga en el ensayo a flexión.



Fig. 4 Viga de concreto convencional después de ensayo a flexión [6]

En la Tabla 8, se muestran los resultados de las probetas sin fibra y con fibra con datos de las dimensiones de los especímenes.

TABLA 8
Resultado de la prueba de flexión

Probeta	Ancho (Mm)	Alto (Mm)	Largo (Mm)	Peso (Kg)	F' C(Kg/Cm2) Promedio	
Sin Fibra	P1	153	157	500	27.42	41.32
	P2	157	152	497		
	P3	160	160	500		
Con Fibra	P1	152	215.49	503	28.3	67.60
	P2	157	212.88	503		
	P3	160		503		

Nota: Fuente Propia

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de compresión y flexión de nuestra tercera fuente como en la Ref. [7] “Propuesta de concretos reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico para la construcción de pavimentos rígidos en la región de Apurímac”. En esta fuente para el ensayo se consideraron 12 diseños de mezcla para el contenido de cemento y relación a/c de 360 kg con a/c de 0.50, 380 kg con a/c de 0.45 y 400 kg con a/c de 0.40 siendo 4 mezclas para cada uno.

Asimismo, la dosificación respectiva de las fibras de acero varió de acuerdo a las propiedades que se desean modificar. Para este estudio se utilizaron las dosificaciones de 20, 25 y 30 kg/m³.

Resultados a la compresión a 28 días. (ASTM C39)- En relación con los concretos con edad de 28 días, los que tienen una relación a/c = 0.50 dieron una resistencia entre 335 y 350 kg/cm² acorde a su resistencia equivalente (320 kg/cm²). Los concretos con relación a/c = 0.45 dieron una resistencia entre 375 y 385 kg/cm² acorde a su resistencia equivalente (360 kg/cm²). Los concretos con relación a/c = 0.40 dieron una resistencia entre 435 y 450 kg/cm² acorde a su resistencia equivalente (420 kg/cm²). Esto se puede observar en la Fig 5.

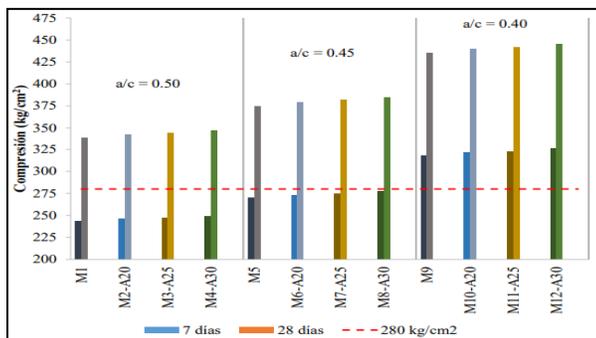


Fig. 5 Ensayo a la compresión a 28 días [7].

Resultados a la flexión a 28 días. (ASTM C78)- Respecto a los resultados a 28 días, para el concreto con relación $a/c = 0.50$ con fibras de acero en dosis de 20, 25 y 30 kg se obtuvieron respectivamente, 38.5, 42.1 y 44.3 kg/cm^2 de resistencia. Continuando con los resultados a 28 días, para el concreto con relación $a/c = 0.45$ con fibras de acero en dosis de 20, 25 y 30 kg se obtuvieron respectivamente, 46, 49.4 y 51.1 kg/cm^2 de resistencia. Concluyendo con los resultados a 28 días, para el concreto con relación $a/c = 0.40$ con fibras de acero en dosis de 20, 25 y 30 kg se obtuvieron respectivamente, 52.8, 56.6 y 61.2 kg/cm^2 de resistencia [6]. En la Fig. 6, se observan los resultados.

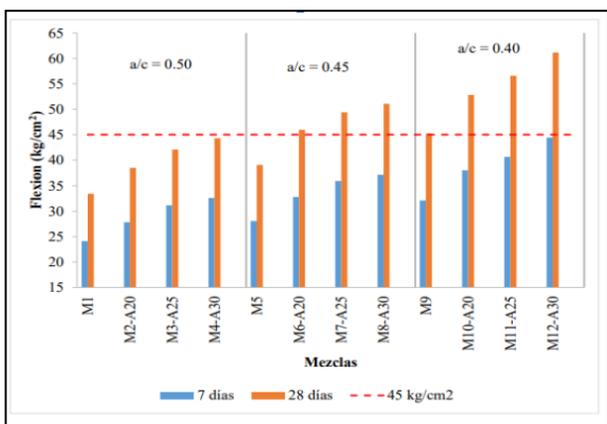


Fig. 6 Ensayo a la flexión a 28 días [7].

En comparación, con los resultados que brindaron las pruebas sin fibras de acero en la relación 0.5, 0.45, y 0.40 que fueron de 33.4, 39 y 45.2 kg/cm^2 respectivamente. Podemos observar que M.R de los concretos con fibra aumentó entre 15 y 36 %, a comparación de los concretos sin fibra. Y, por último, se presentan los resultados de los ensayos de compresión y flexión de nuestra cuarta fuente “Análisis técnico económico para elementos estructurales de concreto armado con añadido de fibra de acero reciclado en un diseño de un diseño de mezcla optimizado $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ ” [3].

El ensayo se realizó a un total de 60 probetas cilíndricas (Ensayos de Compresión) y 66 probetas prismática (Flexión) de concreto diseñadas y ensayadas bajo las normas NTP 334 / NTP

339 una parte diseñada de manera convencional y la otra diseñada de modo cuasi experimental con la incorporación de la fibra de acero reciclados en 5 %, 10 % y 15% al diseño de mezcla optimizado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Ensayo a la Compresión a 28 Días- Este ensayo se realiza mediante una máquina hidráulica de gran capacidad para el rompimiento de las probetas; con la finalidad de comprobar la resistencia real de las muestras. Las muestras son de forma cilíndrica de 6” de diámetro (15 cm.) por una altura de 12” (30 cm.).

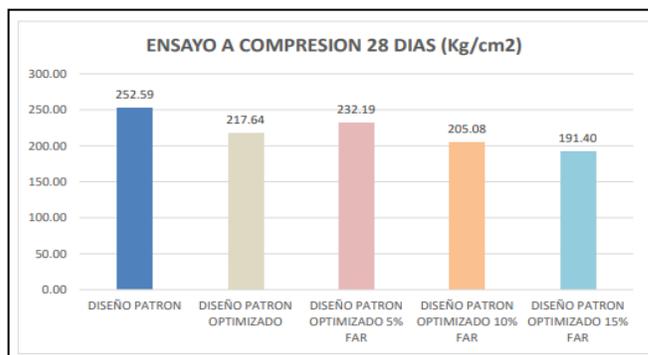


Fig. 7 Ensayo a la compresión 28 días [3].

Respecto a los resultados a los 28 días, los concretos que tienen un diseño patrón optimizado 5% FAR dieron una resistencia de 232.19 kg/cm^2 . Los concretos con diseño patrón optimizado 10% FAR dieron una resistencia de 205.08 kg/cm^2 . Los concretos con diseño patrón optimizado 15% FAR dieron una resistencia de 191.40 kg/cm^2 . Asimismo, los resultados del diseño patrón y diseño patrón optimizado de una mezcla convencional sin FAR dieron los siguientes resultados respectivamente 252.59 y 217.64 kg/cm^2 .

Ensayo a la flexión a 28 días- Las muestras son de forma prismática de 15cm x 15 cm x 50 cm. Para el desarrollo se procede a marcar una pulgada de los extremos hacia dentro de la viga en su longitud; luego la longitud restante se divide entre tres partes con la finalidad de centrar los apoyos. La comparativa se puede observar en la Fig 8.

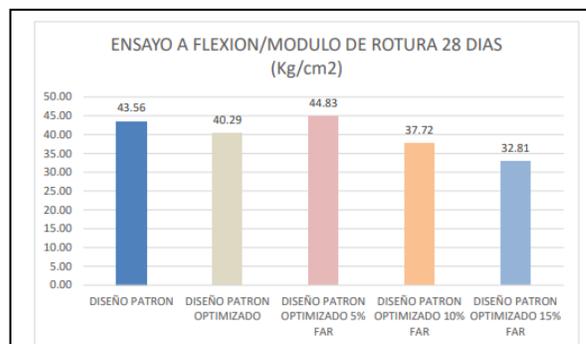


Fig. 8 Ensayo a la flexión 28 días [3].

Respecto a los resultados a 28 días, para el concreto que tienen un diseño patrón optimizado 5% FAR, se obtuvo un valor de 44.83 kg/cm². Los concretos con diseño patrón optimizado 10% FAR, obtuvieron un valor de 37.72 kg/cm².

Los concretos con diseño patrón optimizado 15% FAR, obtuvieron un valor de 32.81 kg/cm². Asimismo, los resultados del diseño patrón y diseño patrón optimizado de una mezcla convencional sin FAR dieron los siguientes resultados respectivamente 43.56 y 40.29 kg/cm².

IV. CONCLUSIONES

En términos generales, en la investigación se buscó evaluar el efecto de las fibras de acero en las muestras de probetas de concreto bajo resistencia a la comprensión y flexión. En esta investigación se entiende que las características de las fibras tienen un gran comportamiento como también desventajas cuando se emplean como refuerzo.

El concreto reforzado con fibras de acero presentan unas virtuosas características mecánicas del concreto, ya sea a flexión o comprensión, en la mayoría de los casos fue que aumentó la resistencia y el problema de fisura disminuyó.

Para el ensayo de Compresión en cilindros a los 28 días de curado, los cilindros reforzados con fibra de acero aumentaron su resistencia de concreto al alcanzar su fase final, ya que las fibras se adhieren adecuadamente al concreto una vez alcanzado los 28 días de curado, evitando cuartearse y que se fragilice el concreto. Aunque no es muy diferente a la resistencia que tiene con el concreto normal, pues apenas el incremento es de 1%.

Para el ensayo de Flexión en vigas de 15x15x50 a los 28 días de ser mezclado con el concreto, muestran un incremento en la resistencia significativamente con respecto a las vigas de concreto normal. Se determinó que las fibras de acero son muy eficientes en el concreto logrando soportar más cargas comparadas con el concreto normal, pero no se adhieren adecuadamente al material, lo que es probable que se vean fallas notables en las vigas.

TABLA 9.
Tipo de probetas usadas

Materiales	Diseño Patrón	Diseño Patrón Optimizado	Diseño Patrón Optimizado con 5% far	Diseño Patrón Optimizado con 10% far	Diseño Patrón Optimizado con 15% far
Cemento (kg)	366,07	330,65	330,65	330,65	330,66
Agua (L)	186,00	185,62	185,62	185,62	185,63
Agregado Grueso (kg)	1010,06	1010,06	16,53	1010,06	1010,07

Agregado Fino (kg)	778,68	810,41	16,53	810,41	810,42
Fibra de Acero Reciclado (kg)			16,53	33,06	49,60

Comparando con este ensayo que tiene como objetivo evaluar el efecto de la fibra de acero en la resistencia a la comprensión del concreto. Además, la dosificación adecuada de las fibras de acero para una mayor resistencia para luego hacer una comparación con un concreto convencional. El diseño de mezcla se puso un concreto de $f'c = 210,00 \text{ kg/cm}^2$. Este cálculo se puede ajustar las características de la mezcla cuando se está preparando, esta mezcla se hizo con el método de ACI Comité 211.

Demostremos que la dosificación de 25,00 kg/cm² de fibra de acero tiene una buena resistencia y la dosificación de 20,00 kg/cm² también, la diferencia es que la de dosificación menor ayuda a ser menos brusca la caída y la recuperación en algunos casos supera la carga máxima. Además del ensayo de concreto se puede apreciar la disminución de desprendimiento del concreto al instante de ceder por las cargas ejecutadas por la presa hidráulica, este material aportará en el confinamiento de refuerzo vertical y horizontal.

En el próximo cuadro se puede observar los resultados de una mejor manera, viendo el diseño a fin de los objetivos es el de 90 kg/m³, recibiendo así un 31% mayor de resistencia a la comprensión de acuerdo a Ref. [7], o sea, que para un diseño de 210 kg/cm² crecerá hasta 288 kg/cm² su resistencia.

A los 28 días, el módulo de rotura de las vigas con inclusión de fibra en 90 kg/m³ aumenta en un 80% con relación al patrón. También podemos notar el aumento de la ductilidad del concreto, ya que puede seguir soportando carga después de la rotura, cuando la viga se agrieta es donde actúa la capacidad a la tracción de la fibra que es 1200 Mpa. El módulo de elasticidad está relacionado al peso unitario y a la resistencia de comprensión del concreto, dada la norma E 060, por eso al agregar las fibras siempre su resultado será mayor al módulo de elasticidad con un aumento de hasta 20%, o sea, obtenemos un concreto con mayor capacidad de deformarse antes de fisurarse.

Su ductilidad del concreto es favorecida por la fibra de acero, ya que en el momento que las fisuras ocurren son limitadas por las fibras de acero, siendo una costura para el concreto, gracias a la fibra de acero en el concreto alcanzamos una estructura con mayor capacidad de soportar cargas de rotura.

En la Tabla 10 y Tabla 11, se muestran la comparativa de los resultados de los ensayos de comprensión y flexión, respectivamente.

TABLA 10
Compresión

Tabla 5		Tabla 7		Figura 5	
Fibra	Promedio	Fibra	Promedio	Fibra	Promedio
0 kg	220,397	3,818 kg	25,91	360 kg	a/c de 0,50
60 kg	261,534	3,884kg	25,91	380 kg	a/c de 0,45
75 kg	258,765	3,784 kg	253,708	400 kg	a/c de 0,40
90 kg	288,555	3,785 kg	253,708		
105 kg	252,357				

Elaboración Propia

TABLA 11
Flexión

Tabla 6		Tabla 8		Figura 6	
Fibra	Promedio	Fibra	Promedio	Fibra	Promedio
0 kg	43,69	27,42 kg	41,32	20 kg	46
60 kg	59,89	28,3 kg	67,60	25 kg	49,4
75 kg	62,21			30 kg	51,1
90 kg	79,39				
105 kg	65,34				

Elaboración Propia

REFERENCIAS

- [1] L.-D. Jhosmer, L.-F. Diego, M.-M. Luis, C.-V. Neicer y M.-C. Rubén, "Influencia de Adición de Fibras de Polipropileno", al *19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, n° 19, 2021.
- [2] J. A. Osorio Saraz, F. Varón Aristizabal y J. A. Herrera Mejía, "Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar", *Dyna*, vol. 74, n° 153, pp. 69-79, 2007.
- [3] J. R. Crispin Doria y C. J. Macalopu Purisaca, "Análisis técnico económico para elementos estructurales de concreto armado con añadido de fibra de acero reciclado en un diseño de mezcla optimizando F'C= 210kg/cm²", *Repositorio UPN*, 2021. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27708/Crispin%20Doria%2c%20Jorge%20Ricardo%20-%20Macalopu%20Purisaca%2c%20Carlos%20Javier.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] D. J. Naupas Tenorio y D. M. Sosa Soto, "Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzados con Fibra de Acero en el Análisis Estructural de Placas en el Proyecto de Ampliación del Centro Médico San Conrado en los Olivivos, Lima – Perú", *Repositorio Académico USMP*, p. 135, 2019. Recuperado de <https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/5288/%c3%blaupas-sosa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] *Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)*, NTC 2871:2018, Icontec, 2018.
- [6] S. Amaya Alarcón y M. A. Ramirez Zapata, "Evaluación de Comportamiento Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras", *Universidad Católica de Colombia*, p. 106, 2019.
- [7] M. Centeno, C. Arturo, R. Moreno y E. Marco, "Propuesta de concretos reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico para la construcción de pavimentos rígidos en la región de Apurímac.", *Repositorio UPC*, p. 171, 2019. Recuperado de <https://repositorio.ucatolica.edu.co/entities/publication/0a077063-b4cf-497f-8c86-c35a986dcc4b>
- [8] G. Torres, J. Romano, H. A. Vacca, Y. A. Alvarado y F. A. Reyes, "Fatigue behavior of ultrahigh-performance fiber-reinforced concrete as an alternative for flexible pavement rehabilitation", *Ingeniería y Universidad*, vol. 26, 2022
- [9] M. Farfán Córdova, D. I. Pinedo Díaz, J. Araujo Novoa y J. Orbegoso Alayo, "Fibras de acero en la resistencia a la compresión del concreto", *Redalyc*, 2019.
- [10] J. Carrillo, W. Aperador y González Giovanni, "Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero", *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 2013.

En el rubro de la construcción se usan fibras desde hace muchos años, lo que significa que el tema se ha estado investigando, sin embargo, en el Perú se viene implementando de a pocos, debido a los nuevos estudios y aplicaciones que se están empleando, entre las cuales se encuentran pisos, pavimentos y elementos prefabricados [8]. La investigación se realiza para evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras, mediante un análisis de resultados en ensayos realizados de compresión y flexión, en cilindros y vigas de concreto respectivamente. La investigación es importante porque permite conocer las capacidades mecánicas que puede adquirir un concreto reforzado con fibras de acero y de esta manera determinar un mejor comportamiento en cuanto a compresión y flexión.

Las características de las fibras de acero influyen en el comportamiento del concreto cuando se utiliza como refuerzo, es decir se toma en consideración las siguientes características como: la cantidad de dosificación agregada a la mezcla, la longitud de las fibras y el tipo de material de cada fibra. Dentro de la investigación se tomó en cuanto 4 tipos de ensayo: ensayo de compresión simple, módulo de elasticidad, compresión diametral y flexión. A medida que se coloca mayor cantidad de fibras al concreto disminuye la trabajabilidad del concreto, a diferencia de los resultados de resistencia a la compresión de Ref. [9] y los resultados a flexión de Ref. [10] en el que no resulta una variación significativa, en especial cuando se trabajan con fibras de longitud de 60mm.