



FIBRAS DE ACERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

STEEL FIBERS IN THE RESISTANCE TO COMPRESSION OF THE CONCRETE

Marlon Farfán Córdova¹; Diana Isabel Pinedo Díaz²; Josué Araujo Novoa³; Jhilson Orbegoso Alayo⁴

Recibido 09/05/2018; Aprobado: 10/10/2018

DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19787.95523>

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar el efecto de la fibra de acero en especímenes de concreto bajo resistencia a la compresión. El ensayo de resistencia a la compresión se determinó en tres grupos con tres probetas cada uno, un grupo control y dos experimentales con proporciones de 25 y 30 kg/m³ de fibra de acero. Los especímenes fueron sometidos a prueba de compresión a la edad de 14 días. Los resultados mostraron que el grupo de mayor resistencia es aquel con proporción 25 kg/m³ de fibra de acero con resistencia 212,39 kg/m², superando al grupo control en 1,1%.

Palabras clave: *especímenes de concreto; resistencia a compresión; fractura de especímenes*

¹Marlon Farfán Córdova. Docente universitario del área de investigación de la Universidad César Vallejo. Trujillo. Perú. Licenciado en Matemática e Ingeniero Civil. Maestro en Docencia Universitaria. Correo: mfarfan@ucv.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9295-5557>

²Diana Isabel Pinedo Díaz. Estudiante de la carrera profesional de ingeniería civil de la Universidad César Vallejo. Trujillo. Perú. Correo: d.isabelpinedo@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1542-9478>

³Josué Araujo Novoa. Estudiante de la carrera profesional de ingeniería civil de la Universidad César Vallejo. Trujillo. Perú. Correo: josuearaujo1995@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7806-3165>

⁴Jhilson Orbegoso Alayo. Estudiante de la carrera profesional de ingeniería civil de la Universidad César Vallejo. Trujillo. Perú. Correo: jhorbegoso96@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9442-336X>

ABSTRACT

This research aims at to evaluate the effect of steel fiber on concrete specimens under compressive strength. The compression strength test was determined in three groups with three specimens each, a control group and two experiments with proportions of 25 and 30 kg/m³ of steel fiber. a compression test was made on the specimens at the age of 14 days. The results of the group with the highest resistance is that with a proportion of 25 kg/m³ of steel fiber with resistance 212,39 kg/m², exceeding the control group by 1,1%.

Keywords: *concrete specimens; resistance to compression; fracture of specimens*

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo el material más utilizado para la construcción es el concreto, gracias a su versatilidad, durabilidad y trabajabilidad, así como, a la resistencia mecánica que presenta. Distintos países han desarrollado métodos para mejorar sus características, y las investigaciones se orientan al uso de concreto reforzado con fibras de acero que permiten optimizar la aplicación en las estructuras. Estas fibras se muestran como una alternativa diferente para el diseño y construcción de estructuras que requieran particularidades especiales. Al respecto, Sotil y Zegarra [1] refieren que, el uso del concreto fibroreforzado se ha incrementado en los últimos años en el Perú, se utiliza desde los pavimentos rígidos hasta el reforzamiento de estabilidad de los túneles, haciéndolo único y logrando que forme parte de los materiales con más demanda en el mercado. Asimismo, las fibras de acero se muestran como una opción para el diseño y construcción de losas industriales, cambiando totalmente los métodos convencionales.

2. DESARROLLO

El cemento es uno de los materiales que forma parte del concreto, y su participación es cuidadosamente dosificada para proporcionarle diferentes tipos y comportamientos. Siendo un elemento aglutinante presenta propiedades de adherencia y cohesión que permiten la unión de fragmentos entre sí. En la construcción a nivel mundial generalmente se utiliza el cemento *Portland*, el cual es el más conocido [2]. La Norma Técnica Peruana (NTP) NTP E.060 [3] establece que “el cemento es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire”. Así mismo refieren, el cemento *Portland* es un producto obtenido por la pulverización del *Clinker Portland* con la adición eventual de sulfato de calcio. Se le pueden agregar otros productos a la mezcla siempre que no excedan el 1% en peso del total, y no afecte las propiedades del cemento resultante.

Otro de los componentes de la mezcla normado por la NTP [3] son los agregados, material

granular de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico. El agregado fino es proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz 9,5 mm (3/8") y el agregado grueso, retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4), proviene de la desintegración natural o mecánica de las rocas.

Las fibras como refuerzo se vienen empleando hace ya 4000 años como adición para mejorar propiedades mecánicas. Se tiene evidencia de la Baja Mesopotamia, donde los adobes de barro cocidos al sol se construían con paja y hasta hace unos años se utilizaban pelos de cabra o caballo para armar el yeso. De la misma manera, en el antiguo Egipto se introducían pajas al macizo arcilloso para la confección de ladrillos, dándole mayor resistencia y una buena manejabilidad. Dichas fibras naturales se utilizaron hasta el año 1935 aproximadamente, y fue cuando se inició el uso de fibras sintéticas [1]. En [1] también se hace referencia a la utilización de concreto reforzado con fibras de acero *Wirand® FF3* y *Wirand® FF4* (80/60), aplicado a losas industriales de pavimento rígido, para medir las propiedades mecánicas (flexión, compresión, tenacidad) del concreto respecto al concreto reforzado tradicional. Se determinó que el concreto fibroreforzado se comporta mejor mecánicamente frente al concreto sin refuerzo generando un aumento en la resistencia de hasta 30,0% aproximadamente, proporcionando mayor energía de rotura.

Funcionalmente hablando, el concreto estructural soporta esfuerzos a tracción que son transmitidos por adherencia a las fibras una vez se ha producido micro-fisura, éstas a su vez controlan la fisuración y reducen la intensidad de la misma a la vez que mejoran la tenacidad. En tal sentido el interés del uso de fibras radica en encontrar beneficios adicionales que permitan mejorar las características de los materiales y condiciones de trabajabilidad en obra, reduciendo mano de obra, incrementar la durabilidad de las estructuras y reducir o eliminar el refuerzo tradicional [4].

En otra experiencia con fibras de acero [5], se compararon la resistencia equivalente a la flexión entre las fibras de acero *Wirand* producidas en Italia y las producidas en Perú, determinaron experimentalmente el valor de Re_3 , resistencia equivalente a la flexión, mediante en ensayo japonés *JCA SF-4* utilizando los materiales producidos en la fábrica de Maccaferri del Perú comparándolos con investigaciones anteriores realizadas en Maccaferri de Italia. Mostraron que, bajo las mismas condiciones de dosificación y resistencia, los valores para el tipo de fibra *FF1* son menores que las fibras *FF3*. Esto comprueba las características del producto, ya que se indica que el tipo de fibra *FF3* posee mayor ductilidad

y tenacidad que el tipo *FF1*.

En ese sentido, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fibra de acero en la resistencia a la compresión del concreto. Determinándose, además, la dosificación adecuada de las fibras de acero para obtener una mayor resistencia, comprobar las resistencias máximas alcanzadas por el concreto reforzado con fibras de acero y comparar la resistencia a la compresión un concreto con estas fibras con respecto a un concreto convencional.

3. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo básica por su finalidad, cuantitativa por su enfoque, explicativa por su nivel y transversal por su temporalidad. Se utilizó un diseño experimental con pos-prueba únicamente y grupo control.

Para la experiencia se empleó cemento *Portland* Tipo I marca Pacasmayo, agregado fino y grueso de una distribuidora local y fibras de acero comercial trefilado de alta calidad marca *Sika® Fiber CHO 65/35 NB* [6], estas últimas le otorgan una alta capacidad de soporte al concreto, es decir, aumenta la resistencia al impacto, fatiga y fisuración, así como incrementan la ductilidad y absorción de energía. Se trabajó con dos grupos experimentales, G2 y G3, con 25,00 y 30,00 kg/m³ de fibra de acero, respectivamente, y un grupo control G1.

Se realizaron pruebas de granulometría a los materiales de acuerdo a la norma NTP 400.012 [7], peso específico suelto y compactado según la norma NTP 400.017 [8], contenido de humedad especificado en el procedimiento de la ASTM D 2216-10 [9], capacidad de absorción según NTP 400.021 [10] y NTP 400.022 [11]. El diseño de mezcla se realizó de acuerdo al método ACI-Comité 211 [12], para una resistencia de $f'c = 210,00 \text{ kg/cm}^2$, siguiéndose un diseño de muestra patrón que satisfizo los requerimientos planteados. Los materiales determinados se mezclaron entre 90 y 120 segundos para obtener una mezcla homogénea. Al concreto fresco se le realizó el ensayo de asentamiento [13] para determinar la consistencia o fluidez de la mezcla, al concreto endurecido ensayo de resistencia a la compresión [14] a la edad de 14 días, en especímenes de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura.

4. RESULTADOS

Las Figuras 1 y 2 muestran la granulometría de los agregados fino y grueso, observándose que cumplen con los requerimientos de la norma NTP 400.012 peruana [7] y C136/C136M-05 [15] de la American Society of Testing Materials.

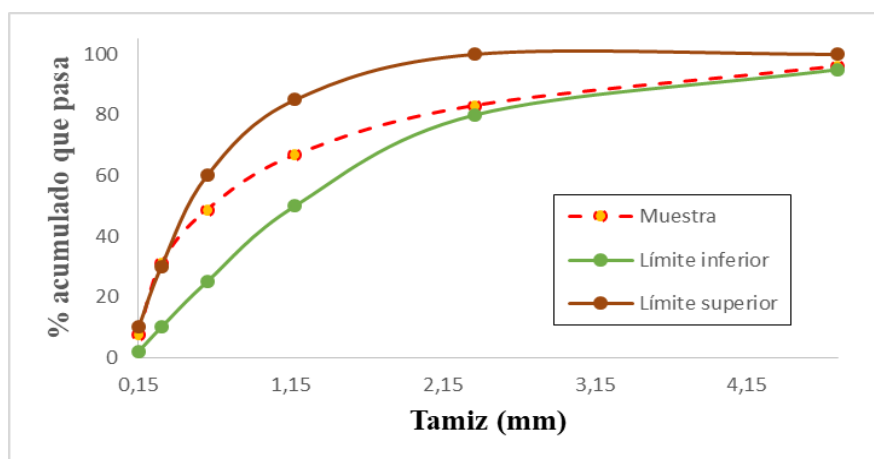


Figura 1. Granulometría del agregado fino – Límites especificación ASTM C136/C136M-05. Fuente: los autores

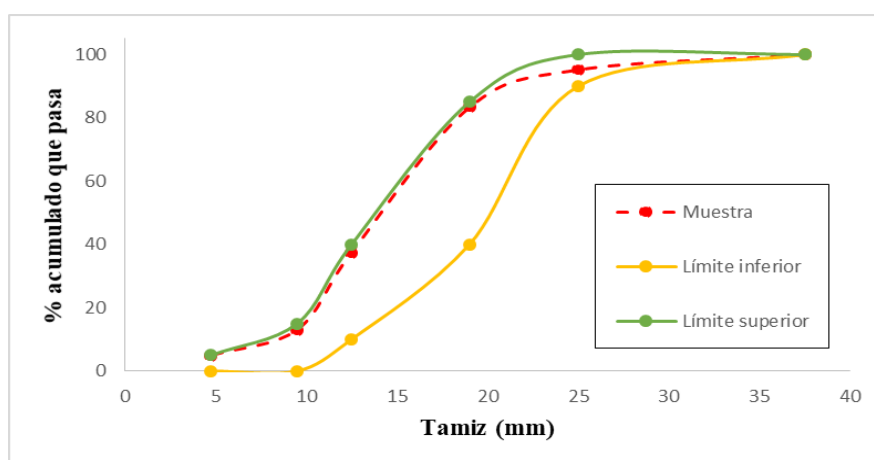


Figura 2. Granulometría del agregado grueso – Límites especificación ASTM C136/C136M-05. Fuente: los autores

En la Tabla 1 se expresa las propiedades de los agregados, las cuales son importantes ya que garantizarán la cantidad final adicionada a la mezcla. El contenido de humedad se ensayó de acuerdo a los métodos estándares D 2216-10 de la American Society of Testing Materials [9], la capacidad de absorción según NTP 400.021 [10] y NTP 400.022 [11], y el peso específico de NTP 400.017 [8].

Tabla 1. Propiedades de los agregados

Agregados	Contenido de humedad (%)	Capacidad de absorción (%)	Peso específico (kg/m ³)
Fino	1,26	0,4	2700
Grueso	2,86	6,5	2680

El diseño de mezcla determina las proporciones de los materiales en una de concreto para ciertas características deseadas, para el caso que compete a este estudio es un concreto de $f'c = 210,00 \text{ kg/cm}^2$. Este cálculo es estimado, ya que se puede ajustar según las características de

la mezcla cuando se esté preparando, para la presente investigación el diseño de mezcla se realizó por el método ACI Comité 211 [12] (ver Tabla 2).

Tabla 2. Diseño de mezcla de concreto simple para 210 Kg/cm² con relación a/c de 0,65

Material	Proporción en peso	Peso (kg)	% de mezcla
Cemento	1,00	363,18	15,5%
A. Grueso	2,20	801,66	34,2%
A. Fino	2,59	940,64	40,2%
Agua	0,65	236,09	10,1%
Total para 1 m ³		2341,57	100,0%

El ensayo realizado al concreto fresco fue el de asentamiento (*Slump*), para determinar la consistencia o fluidez de la mezcla. Se efectúa con el cono de *Abrams* y hace referencia a la norma ASTM C-143 [15]. Con este ensayo comprobamos el diseño de mezcla, el cual fue originalmente preparado para un *Slump* de 3"- 4". En la Tabla 3 se observa que el asentamiento en las mezclas de concreto tuvo un decremento de 28,6 y 36,3%, respecto al concreto simple, y en concretos con contenidos de fibra de acero de 25,00 y 30,00 kg/m³, respectivamente.

Tabla 3. Asentamiento del concreto en estado fresco con a/c=0,65

Mezcla	Fibra (kg/m ³)	Slump	% Variación
G1	-----	3,5	0,0%
2	25	2,5	-28,6%
G3	30	2,23	-36,3%

Los ensayos de resistencia a la compresión fueron realizados para la edad 14 días utilizando la norma NTP 339.034 [14]. En la Tabla 4 se observa el promedio de las resistencias, evidenciándose que el mejor resultado se obtuvo en las probetas con 25,00 kg/m³ (G2) de fibra de acero *Sika® Fiber CHO 65/35 NB*, 212,39 kg/cm² (ver Figura 3). El G2 superó en 1,1% a la muestra control (G1), mientras que G3 solo llegó al 92,0%. Estos resultados se corresponden con los que obtuvo Sotil y Zegarra [1], lográndose la mayor resistencia con fibra *Winrand FF3* alcanzando 320,79 kg/cm² para una dosificación de 25,00 kg/m³ de concreto, mostrando que esta dosificación es conveniente y mejora las propiedades de resistencia a la compresión hasta en un 30,0%. Estos filamentos proporcionan mayor energía

de rotura, el aumento de resistencia a la compresión se debe a que la fibra actúa adhiriéndose al concreto evitando fisuras [4].

Tabla 4. Resistencia a la compresión promedio del concreto en estado endurecido

Mezcla	$f^c = \text{Kg/cm}^2$	% alcanzado
G1	210,00	100,0%
G2	212,39	101,1%
G3	193,24	92,0%



Figura 3. Fractura de probetas según la carga utilizada. Fuente: los autores

En la Figura 4 se muestra que la máxima resistencia obtenida en uno de los ensayos pertenece al grupo G1 de 217,32 kg/cm², aunque luego decrece sustancialmente a 205,85 kg/cm², mostrando que esta dosificación no garantiza sostenibilidad en la resistencia. Por el contrario, la muestra G2 presenta una curva ascendente siendo el valor más alto en los ensayos de 214,27 kg/cm², 2,0 % por encima del estándar.

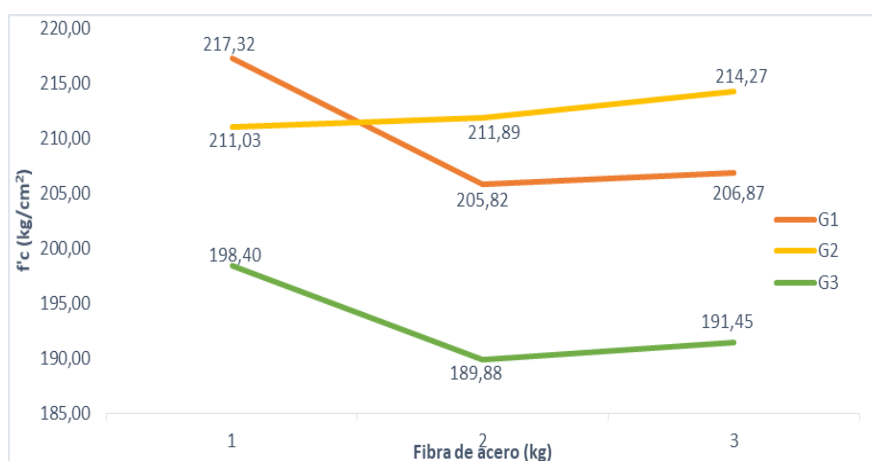


Figura 4. Resistencia a la compresión según kilogramos de fibra. Fuente: los autores

Esto demuestra que la dosificación de 25,00 kg/cm² de fibra de acero garantiza una buena resistencia a la compresión del concreto. Así también, en [5] se muestran en los gráficos carga vs deformación, que la dosificación 25,00 kg/cm², a diferencia que 20,00 kg/cm², ayuda a ser

menos brusca la caída de la pendiente y la recuperación de la curva en algunos casos supera la carga máxima inicial

El análisis estadístico ANOVA de la Tabla 5, muestra que las resistencias a la compresión a diferentes dosificaciones presentan una diferencia muy significativa ($p < 0,01$), y el análisis Post Hoc de comparaciones múltiples en la Tabla 6, establece que el grupo G2 tiene un promedio similar al del grupo control G1. Es decir, no presentan diferencias significativas ($p=0,807 > 0,05$). Esto demuestra la hipótesis que las fibras de acero tienen un efecto positivo y ayuda en la resistencia a la compresión del concreto.

Tabla 5. Pruebas y medidas estadísticas para valores de resistencia a la compresión

Muestras	Prueba de Normalidad (Sig.)	ANOVA (Sig.)	Media	Desviación estándar
G1	0,158	0,004 (F=15,363)	210,00	6,36
G2	0,495		212,40	1,68
G3	0,332		193,24	4,53

Tabla 6. Prueba de Comparaciones múltiples para valores de resistencia a la compresión

(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias (I-J)	Sig.	95% de intervalo de confianza	
				Límite inferior	Límite superior
G1	G2	-2,39333	0,807	-13,9466	9,1600
	G3	16,76000*	0,010	5,2067	28,3133
G2	G1	2,39333	0,807	-9,1600	13,9466
	G3	19,15333*	0,005	7,6000	30,7066
G3	G1	-16,76000*	0,010	-28,3133	-5,2067
	G2	-19,15333*	0,005	-30,7066	-7,6000

* La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05

5. CONCLUSIONES

- La granulometría de los agregados está dentro de los parámetros que estipula la NTP.
- El grupo G2 alcanzó la máxima resistencia a la compresión con 212,39 kg/cm² y 1,1% por encima del concreto estándar.
- El uso de fibras de acero permite más trabajabilidad en el concreto.
- La dosificación de 25,00 kg/m³ de fibras de acero permite que los materiales se adhieran más e incrementa la resistencia a la compresión, en comparación con la dosificación de 30,00 kg/m³ que la resistencia disminuye.

- Las fibras de acero favorecen a la resistencia a la compresión del concreto de 210,00 kg/cm².

6. REFERENCIAS

- [1] A. Sotil y J. Zegarra, «Análisis comparativo del comportamiento del concreto sin refuerzo, concreto reforzado con fibras de acero Wirand FF3 y concreto reforzado con fibras de acero Wirand FF4 aplicado a losas industriales de pavimento rígido», Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, 2015.
- [2] J. Niño, «Tecnología del concreto», Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas. Tercera edición. Bogotá D.C: Asocreto. 2010.
- [3] Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), «NORMA E.060 CONCRETO ARMADO», Lima, Perú, Digigraf S.A., 2009.
- [4] F. Sánchez y R. Tapia, «Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días», Tesis, Universidad Privada Antenor Orrego, Peru, 2015.
- [5] C. Córdova, L. Cuéllar y M. Guisado, «Comparación de la resistencia a la flexión entre fibras de acero Wirand producidas en Italia y las producidas en Perú», Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, 2012.
- [6] SIKA FIBER CHO 65/35 NB, «Fibras de acero pegadas para refuerzo del concreto normal y concreto proyectado», 6ta ed., Lima, Perú, 2015.
- [7] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI, NTP 400.017 «Agregados Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado», Norma Técnica Peruana, Lima, Perú, 2001.
- [8] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI, NTP 400.012 «Agregados Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global», Norma Técnica Peruana, Lima, Perú, 2001.
- [9] American Society of Testing Materials (ASTM), D 2216-10 «Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass», USA, 2014
- [10] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI, NTP 400.021 «Agregados Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso», Norma Técnica Peruana, Lima, Perú, 2002.
- [11] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI, NTP 400.022 «Agregados Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino», Norma Técnica Peruana, Lima, Perú, 2002.
- [12] ACI, «Standard Practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete», ACI 211.1-91, 1998.
- [13] American Society of Testing Materials (ASTM), «C143/143M-15^a Método de ensayo normalizado para asentamiento de concreto de cemento hidráulico», USA, 2000.

- [14] Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI, NTP 339.034 «Concreto Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas», Norma Técnica Peruana, 4ta ed., Lima, Perú, 2015.
- [15] American Society of Testing Materials (ASTM), «C136/C136M-05 Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos» USA, 2014.