

Resistant shear of concrete beams with the addition of steel fibers when reinforced with carbon fiber

Norman Samuel, Morocho Sánchez Ing.¹; Miguel Angel, Mosqueira Moreno Dr.²;
Hermes Roberto, Mosqueira Ramírez Dr.³; José Carlos Mosqueira Moreno Ing.⁴

¹Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. nmorochos@unc.edu.pe

²Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. mmosqueira@unc.edu.pe

³Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

⁴Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Lima, Perú. mosqueira6@gmail.com

Abstract—Structural reinforcement encompasses many challenges. If a structural element is damaged by some external factor and is not reinforced, failure can be immediate. The research presents a method of repairing and reinforcing structures by applying carbon fiber, to determine the increase in resistance to shear force. As elements that do not have twist at the node are required to evaluate their shear resistance, six reinforced concrete frames were made, incorporating three steel fibers. After the shear test and reaching their ultimate failure, they were repaired with SikaRep 500 and reinforced with carbon fiber; For the shear test, the load was applied at a distance equal to the effective superelevation. It is concluded that the average resistance in beams with simple reinforcement without the addition of steel fiber, when repaired and reinforced with carbon fiber, was 8.56 MPa, in the initial stage it was 3.91 MPa and in the beams with fiber addition of steel was 9.19 MPa and in the initial stage it was 5.18 MPa. The average deformation in beams with simple reinforcement without the addition of steel fiber, when repaired and reinforced with carbon fiber, was 6.62 mm and in the initial stage it was 2.40 mm, while, in the beams with fiber addition of steel was 9.26 mm and in the initial stage it was 3.00 mm. Demonstrating that the use of carbon fiber as reinforcement increases the initial shear resistance by up to 2.19 times.

Keywords: *Ultimate failure, steel fiber, carbon fiber, deformation, shear stress.*

Cortante resistente de vigas de concreto con adición de fibras de acero al ser reforzadas con fibra de carbono

Norman Samuel, Morocho Sánchez Ing.¹; Miguel Angel, Mosqueira Moreno Dr.²;

Hermes Roberto, Mosqueira Ramírez Dr.³; José Carlos Mosqueira Moreno Ing.⁴;

¹Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Cajamarca, Perú. nmorochos@unc.edu.pe

²Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. mmosqueira@unc.edu.pe

³Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. hmosqueira@unc.edu.pe

⁴Universidad Nacional de Cajamarca (UNC). Cajamarca, Perú. mosqueira6@gmail.com

Resumen– El refuerzo de estructuras abarca muchos desafíos. Si un elemento estructural dañado por algún factor externo y no se refuerza, la falla puede ser inmediata. La investigación presenta un método de reparación y reforzamiento de estructuras aplicando fibra de carbono, para determinar el aumento de la resistencia a fuerza cortante. Al requerirse elementos que no tengan giro en el nudo para evaluar su resistencia a cortante, se elaboraron seis pórticos de concreto armado, incorporando a tres fibras de acero. Luego del ensayo a corte y alcanzar su falla última, fueron reparados con SikaRep 500 y reforzados con fibra de carbono; para el ensayo a corte, la carga se aplicó a una distancia igual al peralte efectivo. Se concluye que la resistencia promedio en vigas con refuerzo simple sin adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono fue 8,56 MPa, en la etapa inicial fue 3,91 MPa y en las vigas con adición de fibra de acero fue 9,19 MPa y en la etapa inicial fue 5,18 MPa. La deformación promedio en vigas con refuerzo simple sin adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono fue 6,62 mm y de la etapa inicial fue 2,40 mm, mientras que, en las vigas con adición de fibra de acero fue 9,26 mm y en la etapa inicial fue 3,00 mm. Demostrando que el empleo de fibra de carbono como reforzamiento incrementa hasta en 2,19 veces la resistencia a cortante inicial.

Palabras clave: Falla última, fibra de Acero, fibra de Carbono, deformación, esfuerzo cortante.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del artículo se basa en la tesis: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última”, del repositorio de la universidad Nacional de Cajamarca [1]

La seguridad estructural puede ser afectada debido a diversos fenómenos como lo son la corrosión, el desgaste, el uso inadecuado de materiales, la cimentación, las modificaciones no planificadas o ampliaciones [1]. Sin embargo, las fallas más dañinas en las edificaciones de concreto armado suelen ser por compresión y aplastamiento en el concreto o por fuerza cortante, es por eso que, con el fin de evitar este tipo de fallas, en el diseño se ha asignado un factor de reducción menor en comparación a otro tipo de fuerzas

actuante como por ejemplo flexión, pues se considera que este tipo de falla tiene un comportamiento dúctil.

Al diseñar las estructuras de concreto armado y sus elementos estructurales de concreto armado, es crucial tener un comportamiento dúctil ante la acción de cargas de gravedad y en especial las cargas dinámicas productos de sismos severas [2].

La fuerza cortante al provocar una falla frágil ha conllevado al interés de diferentes investigadores sobre las vigas de concreto reforzado sometido a este tipo de fuerzas. A pesar del esfuerzo realizado y las teorías resultantes, aún no se es capaz de explicar o predecir de manera convincente el mecanismo de falla. Por lo que el procedimiento de diseño se basa en datos de experimentos [3].

La falla frágil es más dañina que la falla dúctil porque se produce de forma repentina y sin dar aviso, mientras que la falla dúctil se produce gradualmente. Es por eso de la importancia de su estudio y de la necesidad de plantear sistemas de reforzamiento para evitar que se produzcan

En Cajamarca como en muchos departamentos del Perú es común que las viviendas sean autoconstruidas. En algunas investigaciones se ha indicado que estas edificaciones tienen una vulnerabilidad alta en más del 70 %. Lo cual a largo plazo conlleva a que estas edificaciones requieran aplicar métodos de reparación y reforzamiento de estructuras para garantizar su seguridad estructural. Es por ello de la importancia de esta investigación que permita mejorar la seguridad de las estructuras ante una falla frágil.

La investigación determinó en cuánto varía la resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibras de acero al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono después de haber alcanzado su falla última [1]. Las fibras de acero se adicionan al concreto para mejorar su resistencia al impacto, fatiga mejorar su ductilidad y reducir la fisuración por retracción.

Los sistemas de polímeros reforzados con fibra (FRP) aumenta la resistencia al corte de vigas y columnas de hormigón existentes al envolver los miembros. Orientar las

fibras de FRP transversalmente al eje del miembro o perpendiculares a posibles grietas por corte es eficaz para proporcionar resistencia al corte adicional. Puede ser necesario un aumento en la resistencia al corte cuando se implementa el refuerzo por flexión para garantizar que la capacidad de flexión siga siendo crítica. Las fallas por flexión son más dúctiles en comparación con las fallas por corte [4]

Las fibras de acero son elementos que varían de 6 mm a 150 mm de longitud y espesores que varían de 0,005 mm a 0,75 mm y que se adicionan al concreto con el fin de transferirle propiedades específicas y características que son necesarias para distribuir aleatoriamente dentro de una mezcla de concreto en estado fresco [1]

El uso de fibra de carbono para el reforzamiento de estructuras de concreto armado representa una técnica avanzada que ofrece notables beneficios en términos de resistencia y durabilidad. El desarrollo de técnicas avanzadas para la reparación y refuerzo de estructuras de concreto armado mejora la resistencia de los edificios ante terremotos, extiende su vida útil y garantiza la seguridad de sus ocupantes. [1]

El empleo de fibra de carbono como reforzamiento de estructuras de concreto, mejora la resistencia a la tracción y durabilidad [4], además es un material ligero, no se corroen, mejoran el comportamiento estructural ante cargas. Su aplicación requiere de un adecuado diseño y ejecución siguiendo las normas y criterios técnicos vigentes. [1]

El estudio presenta una revisión de los factores más resaltantes del sistema FRP, así como los resultados de un análisis experimental, donde se evaluó el comportamiento de vigas reforzadas por flexión con este sistema.

La investigación en el comportamiento dúctil de los elementos estructurales es crucial para la ingeniería sísmica. El desarrollo de técnicas avanzadas para la reparación y refuerzo de estructuras de concreto armado no solo mejora la resistencia de los edificios ante terremotos, sino que también extiende su vida útil y garantiza la seguridad de sus ocupantes. Este campo de estudio ofrece a los Ingenieros Civiles herramientas esenciales para diseñar edificaciones más seguras, asegurando así el bienestar de las comunidades [1].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio tiene un diseño experimental con enfoque cuantitativo, donde se analizó datos numéricos y se identificó tendencias y promedios de los resultados obtenidos producto de los ensayos de laboratorio.

La investigación realiza la reparación y reforzamiento de 6 vigas ensayadas a corte por el Bach. Víctor Hugo Díaz Tafur

durante su investigación [5], usando concreto $f'_c=20,59$ MPa de resistencia. En la cual a 3 de las vigas se les realizó incorporación de fibra de acero Sika Fiber CHO 65/35 NB con una dosificación del 2%, la reparación se realizará con SikaRep 500 aplicando un puente de adherencia Sikadur 32 y posteriormente reforzó las vigas con fibra de carbono siguiendo las recomendaciones del ACI 440.2R-17 y la ficha de los productos aplicables. [1]

Se realizó el ensayo en la Maquina Universal de 100 toneladas y se aplicó la carga a una distancia del total del peralte efectivo de la viga medido desde la cara de la columna para corte, se midieron las cargas de rotura y deformaciones, para luego analizar el aumento de la resistencia a corte reforzado con fibra de carbono. [1]

El uso de fibra de carbono para el reforzamiento de estructuras de concreto armado representa una técnica avanzada con beneficios en términos de resistencia y durabilidad. La investigación continua en este campo es esencial para optimizar las técnicas de aplicación y expandir el conocimiento sobre comportamientos a largo plazo de las estructuras reforzadas con fibra de carbono garantizando infraestructuras más seguras y resilientes.

Con el fin de ensayar las vigas a cortante se ha fabricado pórticos con columnas más rígidas para evitar el giro en la unión y únicamente la viga soporte cortante al aplicar la carga puntual.

A. Materiales

- SikaRep 500
- Sikadur 32 Gel
- MapeWrap C Uni-Ax 600
- MapeWrap Primer 1
- MapeWrap 31
- Cemento portland Tipo 1
- Pintura blanca
- Agua potable
- Triplay
- Alambre de amarre N° 16

B. Muestra

La muestra son 6 vigas de concreto armado simplemente reforzadas (3 simplemente con fibras de acero y 3 sin fibra de acero), reparadas con SikaRep 500 y reforzados con fibra de carbono.

C. Métodos

Las estructuras de concreto analizadas, han sido sometidas a pruebas de corte previamente, lo que provocó daños en el material como fisuras, grietas y desprendimiento de fragmentos de concreto. Los procedimientos y métodos para reparar y reforzar estas estructuras fueron:

- Retiro de pintura y escarificado de fisuras:

Mediante la observación visual de los daños como fisuras y grietas, se aplicó los criterios del ACI 224R-01 para determinar el tipo y magnitud de reparación [6].

TABLA I
ANCHOS DE FISURAS RAZONABLES, CONCRETO ARMADO BAJO CARGAS DE SERVICIO

CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN	ANCHO DE FISURA	
	in	mm
Aire Seco o Membrana Protectora	0,016	0,41
Humedad, Aire Húmedo, Suelo	0,012	0,30
Productos Químicos Descongelantes	0,007	0,18
Agua de Mar y Rocío de Agua de mar, Humedecimiento y Secado	0,006	0,15
Estructuras para Retención de Agua	0,004	0,10

Nota: ACI 224R-01. Control de fisuras en estructuras de concreto [6]

Para la reparación de fisuras superficiales se retiró 10 veces el ancho de la fisura, en forma triangular formando un ángulo de 90°.

Para las estructuras con deterioros severos de concreto, se demolió y extrajo el material afectado hasta alcanzar una superficie sana, exponiendo el acero de refuerzo. Se limpió y saneó el acero hasta dejar un recubrimiento mínimo de 2 cm para garantizar una buena adherencia del nuevo concreto.

Después de retirar el concreto deteriorado y escarificar la superficie, se limpió con cepillos de acero, lijas para quitar la pintura y otro, dejando la superficie de concreto libre de suciedad y contaminación que permitiera la correcta colocación del nuevo concreto a restaurar.

- Reparación de vigas con Sikarep 500

Para reparar las vigas con el producto SikaRep 500 se verificó que el concreto endurecido tenga la resistencia de diseño, después de la aplicación del puente de adherencia, se procedió a realizar la instalación del encofrado.

El mortero reforzado con fibras (SikaRep 500) se preparó siguiendo las instrucciones de la hoja técnica. Se tuvo en cuenta la resistencia del mortero, así como la resistencia de diseño del concreto de las vigas, y para mejorar la trabajabilidad del mortero, se añadió un 15% más de agua a la dosificación indicada en la hoja técnica. Luego se procedió a reparar las vigas en estudio.

- Curado de pórticos de concreto armado

Los pórticos fueron curados a una temperatura entre 20 C° y 26 C°.

- Reforzamiento de vigas con fibra de carbono

Para reforzar las vigas con fibra de carbono (laminado en seco), se realizó una reparación del acabado superficial del concreto, asegurando limpieza y sin irregularidades. Se eliminaron los bordes cortantes y se alisaron las curvas con un radio mínimo de 19 mm.

Se repararon las pequeñas cavidades con cemento portland tipo 1, dejando una superficie lisa y nivelada. Esto permitió aplicar el refuerzo con fibra de carbono siguiendo los procedimientos del ACI 440.2R-17 [7]

Después de esperar dos semanas desde la reparación de las vigas con SikaRep-500 y contar con los resultados de las pruebas de compresión del mortero, se realizó el refuerzo con fibra de carbono.

Dado que la viga ha fallado en su totalidad y la finalidad del estudio es determinar el aumento de la resistencia a fuerza cortante después de su falla última, se realizó un refuerzo de tipo confinado según lo sugerido en ACI 440.2R-17 [7] en la falla a corte, considerando los traslapes al peralte, y la longitud de este, según recomendación de ficha técnica del producto.

Siguiendo las recomendaciones de la ficha técnica del producto MapeWrap Primer 1 y MapeWrap 31, procedemos a realizar la preparación considerando los tiempos de aplicación y la temperatura ambiente.



Fig. 1. Estructuras listas para ser ensayadas. Obtenida de “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]



Fig. 2. Ensayos de pórticos. Obtenida de “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resistencia a compresión de toma de muestras de mortero

De las muestras de la preparación de mortero, se realizará el ensayo a compresión: 2 muestras a las 24 horas, 2 muestras a los 7 días y 2 muestras a los 14 días. Con el fin de evaluar la resistencia y la calidad del mortero en diferentes etapas de su fraguado.

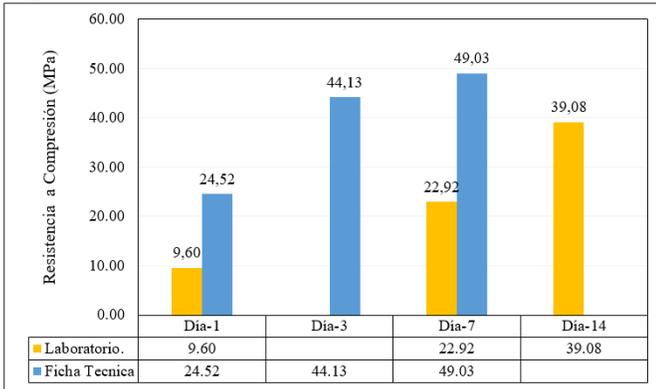


Fig. 3. Resistencia a la compresión del mortero aplicado en la reparación de vigas y lo indicado en ficha técnica

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

La Figura 3, muestra que no se logró alcanzar los resultados estipulados en la ficha técnica, debido a que empleamos un 15% de adición de agua para dar mayor trabajabilidad al mortero, llegando a una resistencia de 39,08 MPa a los 14 días. Las vigas reparadas fueron construidas con concreto de resistencia de $f'c=20,59$ MPa, por lo que la resistencia del mortero es mayor a la del concreto reparado.

3.1. Comparación de resultados de vigas ensayadas a corte

3.1.1. Esfuerzo cortante de vigas de concreto simplemente reforzadas – reforzado con fibra de carbono

TABLA II

ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE VIGAS

Vigas	Esfuerzos Vigas Etapa Inicial (MPa)	Esfuerzos Vigas Reforzada Con FRP (MPa)	Aumento en Resistencia %
PS-01	4,90	7,59	154,96%
PS-02	2,97	8,91	300,36%
PS-03	3,86	9,19	238,07%
Promedio	3,91	8,56	219,10%

Nota: PS (sin fibra de acero)

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

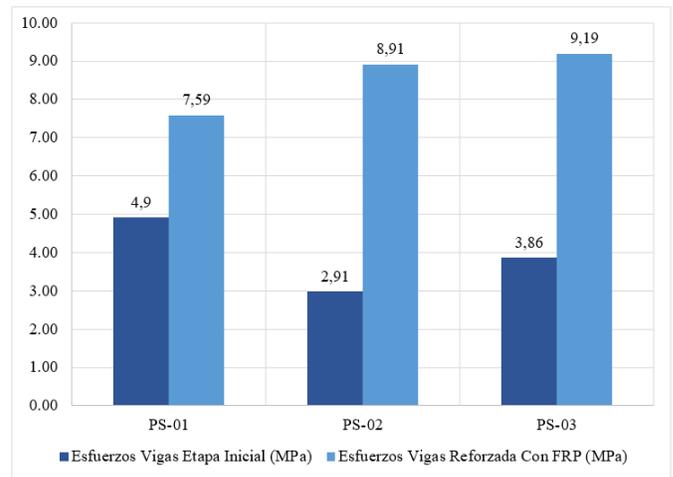


Fig. 4. Comparación de esfuerzos cortantes de vigas ensayadas, PS (sin fibra de acero)

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

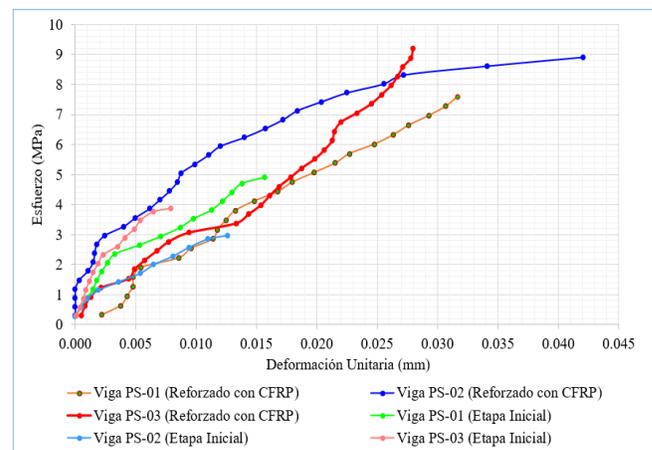


Fig. 5. Esfuerzo vs deformación de vigas PS (sin fibra de acero): vigas etapa inicial - vigas reforzadas con CFRP

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

Las vigas de concreto armado reforzadas con fibra de carbono, posterior a su falla, aumentan significativamente la resistencia a fuerza cortante, según se observa en la Tabla II y Fig. 4 y 5, se muestra los esfuerzos máximos obtenidos en los ensayos. El promedio de los esfuerzos máximos fue de 3,91 MPa para las vigas simplemente reforzadas en su etapa de falla inicial y de 8,56 MPa para las vigas reparadas y reforzadas con fibra de carbono, lo que las vigas reforzadas tienen un incremento de la resistencia a fuerza cortante de 2,19 veces más que la resistencia en la etapa inicial.

3.1.2. Esfuerzo Cortante de Vigas de Concreto con adición de acero – Reforzado con Fibra de Carbono

TABLA III
ENSAYOS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE VIGAS

Vigas	Esfuerzos Vigas Etapa Inicial (MPa)	Esfuerzos Vigas Reforzada Con FRP (MPa)	Aumento en Resistencia %
PF-01	5,05	8,92	176,52%
PF-02	4,20	8,92	212,41%
PF-03	6,29	9,75	155,06%
Promedio	5,18	9,19	177,54%

Nota: PF (con fibra de acero)

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

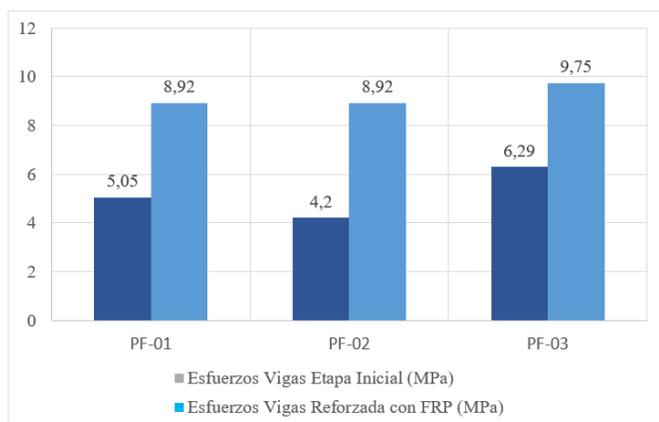


Fig. 6. Comparación de esfuerzos cortantes de vigas ensayadas, PF (con fibra de acero)

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

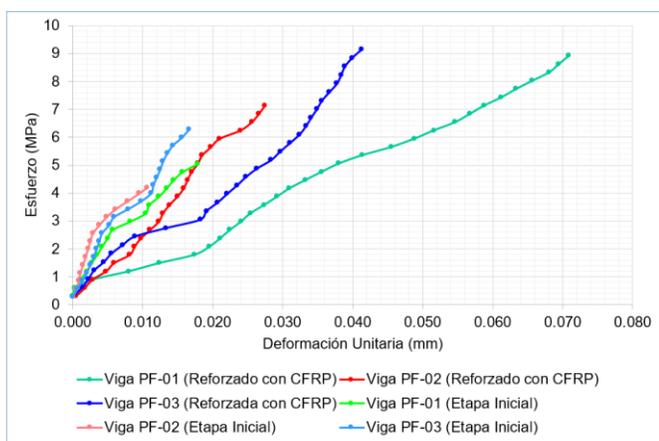


Figura 7. Esfuerzo vs deformación de vigas PF (con fibra de acero): vigas etapa inicial - vigas reforzadas con CFRP

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

Las vigas de concreto armado fabricadas con adición de fibra de acero y reforzadas con fibra de carbono posterior a su

falla, aumentan significativamente la resistencia al corte, según se observa en la Tabla III y Fig. 6 y 7, se muestran los esfuerzos máximos obtenidos en los ensayos realizados. El promedio de los esfuerzos máximos fue de 5,18 MPa para las vigas simplemente reforzadas con adición de fibra de acero y de 9,19 MPa para las vigas reparadas y reforzadas con fibra de carbono, lo que representa un incremento de 1,77 veces más que la etapa inicial.

3.1.3. Deformaciones de vigas con concreto simplemente reforzadas – reforzado con fibra de carbono

TABLA IV
DEFORMACIÓN DEL ENSAYO DE VIGAS

VIGAS	Deformación vigas etapa inicial (mm)	Deformación vigas reforzadas con FRP (mm)	Aumento en deformación resistencia %
PS-01	3,12	6,01	192,63%
PS-02	2,53	8,41	332,41%
PS-03	1,54	5,45	353,90%
PROMEDIO	2,40	6,62	276,36%

Nota: PS (sin fibra de acero)

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

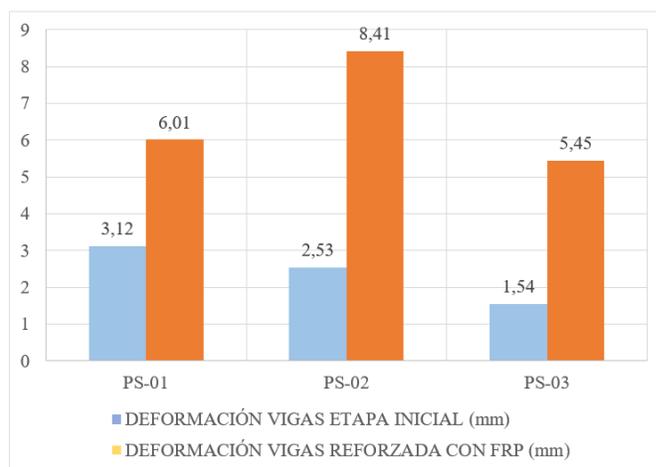


Fig. 8. Comparación de deformaciones de vigas PS (sin fibra de acero)

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

En la Tabla IV se aprecia que el uso de fibra de carbono como refuerzo, aumenta significativamente las deformaciones máximas a corte. El promedio de las deformaciones máximas de las vigas reforzadas con fibra de carbono fue de 6,62 mm, mientras que el de las vigas simplemente reforzadas es de 2,40 mm, lo que representa un incremento 2,76 veces más que la deformación inicial. Esto indica que la fibra de carbono mejora la ductilidad de las vigas, pero también reduce su rigidez.

3.1.4. Deformaciones de vigas con adición de fibra de acero – Reforzado con Fibra de Carbono

TABLA V
DEFORMACIÓN DEL ENSAYO DE VIGAS

VIGAS	Deformación vigas etapa inicial (mm)	Deformación vigas reforzadas con FRP (mm)	Aumento en deformación resistencia %
PF-01	3,54	14,17	400,28%
PF-02	2,14	5,51	257,48%
PF-03	3,32	8,09	243,67%
PROMEDIO	3,00	9,26	308,56%

Nota: PF (con fibra de acero)

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

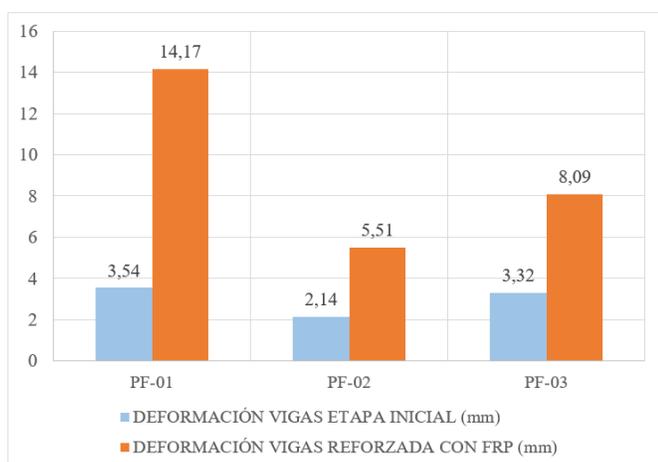


Fig. 9. Comparación de deformaciones de vigas PS (con fibra de acero)

Fuente: “Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última” [1]

En la Tabla V se aprecia que el uso de fibra de carbono como refuerzo, aumenta significativamente las deformaciones máximas a corte. El promedio de las deformaciones máximas de las vigas reforzadas con fibra de carbono es de 9,26 mm, mientras que el de las vigas simplemente reforzadas con adición de fibra de acero fue de 3,00 mm, lo que representa un incremento de 3,08 veces más que la deformación inicial. Esto indica que la fibra de carbono mejora la ductilidad de las vigas.

IV. CONCLUSIONES

- La resistencia promedio en vigas de concreto armado con refuerzo simple sin adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 8,56 MPa, esto representa un incremento de 2,19 (219,10%) veces más que la resistencia promedio de la etapa inicial (3,91 MPa) luego de haber alcanzado su estado límite

último (falla última). Esto indica que el método de reparación y refuerzo empleado es efectivo para mejorar el desempeño de las vigas de concreto armado ante una fuerza cortante.

- La resistencia promedio en vigas de concreto armado con adición de fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 9,19 MPa, esto representa un incremento de 1,77 (177,54%) veces más que la resistencia promedio de la etapa inicial (5,18 MPa) luego de haber alcanzado su estado límite último (falla última). Esto indica que el método de reparación y refuerzo empleado es efectivo para mejorar el desempeño de las vigas de concreto armado ante una fuerza cortante.
- La deformación promedio en vigas con refuerzo simple sin fibra de acero, al ser reparadas y reforzadas con fibra de carbono es de 6,62 mm, esto representa un incremento de 2,76 (276,36%) veces más que la deformación de la etapa inicial (2,40 mm), mientras que, en las vigas con adición de fibra de acero es de 9,26 mm, representando un incremento de 3,08 (308,56%) veces más que la deformación de la etapa inicial (3,00 mm).

REFERENCIAS

- [1] N. Morocho Sánchez. Resistencia a fuerza cortante de vigas con y sin fibra de acero al ser reforzadas con carbono después de haber alcanzado su falla última, Tesis grado de titulación, Univ. Pub. UNC, 2024
- [2] G. Pasino. (2001). Capítulo Peruano ACI
- [3] J. McCormac (2014). Diseño de Concreto reforzado
- [4] MAPEI (2019). Refuerzo estructural. La seguridad estructural en la construcción
- [5] ACI 224R-01 (2001). Control de fisuras en estructuras de concreto
- [6] ACI 440.2R-17 (2017). Guía para el diseño y la construcción de sistemas FRP adheridos externamente para el refuerzo de estructuras de concreto.
- [7] V. Díaz Tafur. Influencia de la incorporación de fibras de acero en la resistencia de vigas de concreto armado ante un esfuerzo cortante, Tesis grado de titulación, Univ. Pub. UNC, 2024