

# Análisis de la resistencia del concreto mejorado con carbono<sup>1</sup>

## Resistance analysis of the concrete improved with carbon

Daniela Molina<sup>2</sup>

Orcid:0000-0003-4709-4158

[danielaalejandramoal@ufps.edu.co](mailto:danielaalejandramoal@ufps.edu.co)

Laura Pérez<sup>3</sup>

Orcid:0000-0002-4647-7993

[lauramarcelapp@ufps.edu.co](mailto:lauramarcelapp@ufps.edu.co)

Vanesa Gómez<sup>4</sup>

Orcid:0000-0003-4526-6366

[vanesaalejandragd@ufps.edu.co](mailto:vanesaalejandragd@ufps.edu.co)

REVISTA FORMACIÓN ESTRATÉGICA. Aceptado: mayo 2022-Aprobado:julio.2022

### RESUMEN

Cada vez es más frecuente en las obras civiles los casos en donde es necesario incrementar la resistencia de la estructura por diversas causas imprevistas, por lo que el presente trabajo analiza el impacto del carbono en la resistencia del concreto con el fin de aportar información clave al área de la ingeniería civil acerca de las maneras en las que se puede utilizar este método de refuerzo en elementos estructurales como vigas, columnas, placas, entre otros. Esta alternativa innovadora de refuerzo del concreto trae diversos beneficios entre ellos está optimizar su capacidad de carga y prolongar la vida útil. Para lo cual se analizarán estudios previos relacionados con el mejoramiento del concreto usando carbono, mediante de una comparación cualitativa, obteniendo como resultado que en las muestras tomadas evalúan distintos beneficios que genera el refuerzo con carbono, de manera que al realizar la comparación se genera un contraste en las características del mismo, llegando a la conclusión de que la fibra de carbono beneficia a las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido al estar bajo alguna carga de flexión.

---

<sup>1</sup> Derivado del proyecto de investigación: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO MEJORADO CON CARBONO

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería civil, Universidad Francisco de Paula Santander, correo electrónico: [danielaalejandramoal@ufps.edu.co](mailto:danielaalejandramoal@ufps.edu.co).

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería civil, Universidad Francisco de Paula Santander, correo electrónico: [vanesaalejandragd@ufps.edu.co](mailto:vanesaalejandragd@ufps.edu.co).

<sup>4</sup> Estudiante de Ingeniería civil, Universidad Francisco de Paula Santander, correo electrónico: [lauramarcelapp@ufps.edu.co](mailto:lauramarcelapp@ufps.edu.co).

## **ABSTRACT**

Cases in which it is necessary to increase the strength of the structure due to various unforeseen causes are becoming more frequent in civil works, so this paper analyzes the impact of carbon on the strength of concrete in order to provide key information to the area of civil engineering about the ways in which this reinforcement method can be used in structural elements such as beams, columns, plates, among others. This innovative alternative for concrete reinforcement brings several benefits, among them is optimizing its load capacity and prolonging its useful life. For which previous studies related to the improvement of concrete using carbon will be analyzed, through a qualitative comparison, obtaining as a result that in the samples taken they evaluate different benefits generated by carbon reinforcement, so that when making the comparison, a contrast in its characteristics, reaching the conclusion that carbon fiber benefits the mechanical properties of concrete in the hardened state when under some bending load.

**PALABRAS CLAVE:** Concreto, Resistencia, Carbono, Construcción.

**Keywords:** Concrete, Resistance, Carbon, Construction.

## **INTRODUCCIÓN**

En la industria de la construcción el concreto es uno de los materiales más utilizados para los proyectos de obras civiles, debido a que su exigencia es cada vez mayor, requieren de materiales con alto desempeño para garantizar al diseñador eficacia, economía y seguridad en las estructuras. Por lo tanto, es necesario su análisis para mejorar las propiedades tanto físicas como químicas, así el concreto deja de ser una simple materia prima para las edificaciones y se transforma en un material inteligente capaz de mejorar cualquier tipo de construcción. (Navarro y Forero, 2017)

El concreto está formado básicamente de cemento, agua, grava y arena, pero es posible incorporar otros materiales tales como acelerantes, plastificantes, fibras y muchos más que ayudan a la mejora del comportamiento del concreto, como su manejabilidad durante el vaciado y sus propiedades físicas al ser sometido a cargas. Además la creciente necesidad de rehabilitar las estructuras trae consigo el surgimiento de diferentes técnicas y métodos para la optimización del material que garantizan que estas sean resistentes a los daños ocasionados por el paso del tiempo.

Como el reemplazo de estructuras deficientes requiere de grandes inversiones, se considera que el reforzamiento se ha transformado en la manera más adecuada de optimizar su capacidad de carga y prolongar su vida útil. Aunque el reemplazo completo de una estructura deficiente o deteriorada es una alternativa deseable, el reforzamiento es más económico, además se dispone de muchos métodos para el reforzamiento, como: ampliación de la sección, unión de placas de acero, método de postensado externo. (Aquino y Mosqueira, 2019)

Las piezas de concreto armado tienden a presentar diversas patologías estructurales causadas por un déficit de diseño, fallas constructivas, baja calidad de los materiales, cambio de uso de la estructura, poco mantenimiento, efectos ambientales, etc, los cuales pueden generar un aumento en la carga última de la estructura. Razón por la que se debe reforzar y reparar, entre los métodos existentes se encuentra el reforzamiento exterior a través del uso de fibras de carbono dependiendo la condición de falla que se presenta, sea flexión o corte. (Guevara, 2018)

La fibra de carbono dispone de las mejores propiedades mecánicas y químicas. Es un polímero en forma de grafito que posee láminas largas y delgadas. Su fabricación se realiza a partir de otro polímero, llamado poliacrilonitrilo, por medio de un proceso de calentamiento, en el cual las fibras se colocan en la matriz longitudinalmente, de manera que, en la dirección de la carga poseen una resistencia a la tracción y rigidez muy altas. Se comporta linealmente hasta la rotura, tienen un excelente desempeño frente a la fatiga y a la fluencia, su densidad es muy baja y tienen una importante resistencia química, al envejecimiento y a los rayos ultravioletas. (Aguilar y Cari, 2019)

Esta fibra comparada con los materiales que normalmente se utilizan en la construcción se considera relativamente costosa, ya que su comercialización es principalmente para la industria automotriz y de aviación ya que resiste muy bien los altos esfuerzos y tiene bajo peso. La fibra de carbono es un material compuesto de hilos de carbono entrelazados sobre una matriz a la que se le adiciona un agente endurecedor, puede ayudar con el refuerzo a tensión gracias a su alta resistencia, fácil colocación y una capacidad mayor inclusive que el mismo acero para soportar esfuerzos tensionantes, de forma que la fibra de carbono puede contribuir con el confinamiento al material. (Moncayo et al, 2016).

Esas características hacen a la fibra de carbono popular en los fabricantes, que unen y trenzan los filamentos, para después de tejidos fabricar mantas como si fuesen de lana, o se moldean en su forma final. Debido a la aplicación de la Fibra de Carbono en el caso de vigas permite incrementar la ductilidad, en las columnas aumenta la rigidez y la resistencia al corte, referente a los muros y losas aumenta la resistencia, rigidez y limita las deformaciones.( Castro,2019)

Es cada vez más común la implementación de sistemas de reforzamiento estructural sustentado en materiales complejos de alta tecnología que plantean incontables ventajas ante los métodos convencionales. De manera que el sistema de fibra de carbono como alternativa de reforzamiento estructural, ha tenido gran acogida, sumado a que permite mitigar todos los factores mencionados anteriormente, gracias a su fácil instalación y su excelente resistencia a la flexión, otra de sus ventajas es que se aprovecha recursos renovables, menos costosos y que requieren menor energía. (Guevara, 2018)

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

El presente análisis tiene un enfoque cualitativo que permite obtener información clara y comprender las características distintivas de una población representativa desde un punto de vista reflexivo y subjetivo a partir de la percepción del investigador, para el desarrollo del trabajo se toman como muestra cuatro estudios anteriores referentes a la resistencia del concreto mejorado con carbono, los cuales serán comparados entre sí mediante un cuadro comparativo, por lo que se realiza la recopilación del material bibliográfico que funcione como antecedente, luego se seleccionan los artículos, tesis, documentos sobre los cuales se hará el análisis, seguidamente se sistematiza la información en una tabla para facilitar la observación de los resultados obtenidos y por último se analiza y procesan los datos llegando a su respectiva conclusión.

## **RESULTADOS**

La tabla 1 recopila los estudios que se tomaron como muestra para realizar el análisis.

**TABLA 1. RESULTADOS DE ESTUDIOS ANTERIORES**

| Título                                                                                                                                                                               | Autor                                             | Resultados de las investigaciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Análisis diseño y comportamiento de vigas de hormigón armado reforzadas exteriormente con fibra de carbono para obra de reparación                                                   | Alvarez Roman Pablo Fabian                        | El máximo valor de carga de las vigas con fibra de carbono es de 19 toneladas cuando la deformación es de 30 mm aproximadamente, si se compara con las 15,4 toneladas de las vigas sin fibra en esa misma deformación, se evidencia que se ha logrado un incremento del 21,8% en las vigas con fibra de carbono, valor muy inferior al esperado, que de acuerdo a lo planteado teóricamente podría ser del 50%.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Los nanotubos de carbono como nueva alternativa de aplicación para mejorar la resistencia a la fatiga o reducir fisuramiento en diseño de pavimentos rígidos con concreto hidráulico | Llanos Rodríguez Daniel Alexander                 | Los resultados obtenidos de las probetas curadas a la edad de 22 días están establecidas en la tabla, donde se puede observar claramente como los nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) modifican la estructura del hormigón a escala nanométrica incrementando el módulo de rotura en un 64.86% para hormigones modificados con PHs-f+%NCPM y 64.86% para hormigones modificados con NSS-f+%NCPM, debido a las propiedades mecánicas de los NTCs ya que poseen una alta resistencia a la tracción de hasta 45GPa.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Análisis experimental del comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas con bandas de CFRP bajo acciones cíclicas en reversa cuasi-estática                                  | Samaniego Palomino Juan Diego Ricardo             | Los especímenes alcanzaron y sobrepasaron las deflexiones previstas, se registraron incrementos de 35% promedio en la resistencia, la degradación de la rigidez por cada ciclo de desplazamiento disminuyó en los especímenes reforzados y la ductilidad de los especímenes mantuvo la resistencia total del elemento evitando la falla de los especímenes. Los especímenes VE-01 y VE-03, fueron los elementos que mejor desempeño tuvieron en el ensayo respecto del espécimen de control (V. Control) que presentó el deterioro y decaimiento de resistencia propios de los elementos de concreto armado. VE-01 tuvo un incremento inicial de 40% en resistencia de acuerdo al desplazamiento comparativo y el cual disminuye con los ciclos de carga impuesto en intervalos decrecientes de 14%, 11% y 9%. |
| Reforzamiento de estructuras de concreto armado en                                                                                                                                   | Iñapi Bravo Miguel Stwar y Terrones Salazar Ander | Según los resultados para el (CFRP), se puede verificar que desfavorece la ductilidad de la sección. Se verificó que la sección con menos cuantía de acero                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

|                                                                                       |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| viviendas de albañilería confinada con fibras de carbono, San Juan de Lurigancho 2020 | Roger | logra un valor de 18.4% en cuanto a su ductilidad inicial, y la mayor cuantía de acero logró un valor de 60.3%<br>En el caso de secciones con menor cantidad de acero, este material tiene una mayor influencia en el aumento de su resistencia, debido a que la fibra de carbono y el acero tienen una rigidez similar. El incremento de la resistencia a flexión produce 58.9%, de la sección con mayor cantidad de acero, el aumento de esta propiedad mecánica logra alcanzar un valor de 18.4%. |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para la investigación de Alvarez el análisis muestra que cuando se tiene el concreto sin fibra soporta cierta cantidad y al usar la fibra soporta un 21.8% mas de resistencia pero que este porcentaje no es lo esperado porque se espera una resistencia del 50%o más con el agregado de la fibra entonces el valor que se espera con este agregado no cumple las expectativas.

De acuerdo al estudio de Llanos, se puede ver como el hormigón modificado con los dos tipos de NTC presentan comportamientos parecidos en el estado húmedo, no obstante continúan siendo materiales conductivos en relación al hormigón tradicional que no tiene esa característica. Se muestra como los NTCPM además de brindar conductividad al material también convierten su estructura más resistente a la flexión por tracción incrementando el módulo de rotura.

Del estudio de Samaniego se puede decir que las muestras reforzadas cumplieron lo esperado en cuanto a la resistencia obteniendo un 35% de incremento en relación a lo convencional, manteniendo la resistencia total por medio de la ductilidad, se evidencia que el espécimen VE-01 fue de mejor desempeño debido a que tuvo un incremento de la resistencia de un 40% de acuerdo al desplazamiento.

En el caso del estudio de Iñapi y Terrones se concluye que en la sección de menor cantidad de acero al incrementar la resistencia a flexión del concreto lo hace en sentido favorable, lo cual define que el comportamiento del CFRP se da en forma lineal hasta llegar

al estado de falla. En cuanto a la ductilidad se puede decir que en secciones de mayor acero la ductilidad disminuye más que en las secciones de menor refuerzo.

El refuerzo del concreto con carbono se debe emplear en elementos de responsabilidad mínima sobre la estructura, comprobando que el refuerzo con fibra de carbono beneficia a las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido al estar bajo alguna carga de flexión. Se descubrió que para la implementación de carbono es recomendable, la adición de más agua en la mezcla, con lo cual se podrá utilizar un plastificante para así mantener su fluidez sin afectar la resistencia deseada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Chama, K. P., & Cari Montoya, B. J. (2019). Verificación de la efectividad del uso de la fibra de carbono en el reforzamiento de vigas de concreto armado sometidas a esfuerzo de flexión y corte. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10565>
- Alvarez Roman, P. F. (2013). Análisis diseño y comportamiento de vigas de hormigón armado reforzadas exteriormente con fibra de carbono para obra de reparación (Bachelor's thesis, PUCE). <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9573>
- Aquino, S., & Mosqueira, M. (2019). Variación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto armado al ser reforzadas con láminas de fibras de carbono (CFRP). *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(4), 75-86. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2663>
- Castro Zavaleta, C. R. (2019). Reforzamiento estructural con fibra de carbono como alternativa económica para aumentar la resistencia a la compresión de las columnas en la galería comercial Fullmarket en el 2019. <https://hdl.handle.net/11537/22464>
- Contreras Landa, L. A. (2017). Análisis del comportamiento de vigas de concreto reforzadas con fibra de carbono. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/629756>
- Hurtado-Figueroa, O. ., Bonilla-Granados, C. A. ., & Cardenas-Gutierrez, J. A. . (2020). Concrete slump with partial replacement of cementitious material by fly ash and hydrated lime: Asentamiento en concretos con reemplazo parcial de material cementante por ceniza volante y cal hidratada. *Respuestas*, 25(S2), 46–52.

Recuperado a partir de

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/2301>

Guevara Fernandez, M. J. (2018). Análisis de la resistencia y ductilidad de vigas de concreto armado con reforzamiento de fibras de carbono.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/25672>

Iñapi Bravo, M. S., & Terrones Salazar, A. R. (2020). Reforzamiento de estructuras de concreto armado en viviendas de albañilería confinada con fibras de carbono, San

Juan de Lurigancho 2020Iñapi. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85797>

Mamani Flores, M. C. (2020). Influencia de la fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión del concreto  $F' C = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Juliaca.

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3304>

Moncayo Theurer, M., & Rodriguez, J., & Alcívar, , & López, , & Soriano, , & Villacis, (2016). Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras.

Ingeniería, 20(1),57-62. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750927006>

Navarro Jimenez, E. A., & Forero Romero, H. (2017). Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto con Nanotubos de Carbono.

<http://hdl.handle.net/11349/6265>

Llanos Rodríguez, D. A. (2017). Los nanotubos de carbono como nueva alternativa de aplicación para mejorar la resistencia a la fatiga o reducir fisuramiento en diseño de pavimentos rígidos con concreto hidráulico (Master's thesis).

<https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/21315>

Samaniego Palomino, J. D. R. Análisis experimental del comportamiento de vigas de concreto armado reforzadas con bandas de CFRP bajo acciones cíclicas en reversa

cuasi-estática. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19489>



