

# Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras

Moncayo Theurer, M.<sup>1</sup>, Rodriguez, J.<sup>2</sup>, Alcívar <sup>3</sup>, López <sup>3</sup>, Soriano <sup>3</sup>, Villacis<sup>3</sup>

*Fecha de recepción: 04 de abril de 2016 – Fecha de aprobación: 24 de noviembre de 2016*

## RESUMEN

La razón de uso de las estructuras es para dar soporte, pero frente a situaciones durante su vida útil o condiciones de uso extremas, puede ponerse en peligro su estabilidad.

¿Cómo y cuándo es necesario intervenir una estructura, cuando hay peligro de colapso?, ¿cuál es el límite de seguridad de una estructura? ¿Qué tipo de intervenciones se pueden realizar?

La fibra de carbono se ha vuelto una alternativa de material de reforzamiento, definimos su producción, conformación, descubrimientos y en qué se puede utilizar.

**Palabras Claves:** Fibra de carbono, Reforzamiento de estructuras, Estructuras, Alternativas de refuerzo.

## Carbon fibers as an alternative for reinforcing structures

### ABSTRACT

Structures can be used for supporting, but during their useful time or during extreme conditions, their stability may be compromised. How and when are necessary to retrofit a structure, if there exist a danger of collapse?, which is the limit of security of a structure?. What kind of interventions can be performed?

Carbon fiber has become an alternative reinforcing material. In this work, its production, conformation, discoveries and different uses are explained.

**Keywords:** Carbon Fiber, Reinforcing structures, Structures, Alternative reinforcement,

---

<sup>1</sup> Coordinador de Investigaciones de la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas (UG), profesor de la universidad Estatal de Santa Elena, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Academia de Guerra Naval (AGUENA). Correo electrónico: marcelo.moncayot@ug.edu.ec; solugran@gmail.com.

<sup>2</sup> Profesor Titular de la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas

<sup>3</sup> Investigadores Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Guayaquil-Ecuador  
Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 20, No.1, 2016.

## INTRODUCCIÓN

Las estructuras de concreto pueden presentar insuficiencias, ya sea por construcciones deficientes, deterioro del hormigón, corrosión del acero de refuerzo, cambios en la funcionalidad de su estructura o aumento de las cargas estimadas en su diseño; en caso extremo, porque han llegado al final de su ciclo de servicio, generando un factor de riesgo al ser estructuras antiguas que requieren rehabilitación. (Flores, 2013; Belouar et al, 2013; Llano, 2009).

Por ello, es de vital importancia el análisis de la estructura a lo largo de su vida útil y en caso de ser necesario, la aplicación de elementos de refuerzo.

El reforzamiento es una acción que permite aumentar la capacidad de resistencia mecánica de una parte de la estructura o de la estructura completa [Rosero, 2013]. En ciertas ocasiones se determina que la estructura requiere aumentar su resistencia en función de las demandas reales. En otras ocasiones, las estructuras se someten a eventos excepcionales que provocan daños que deben ser reparados urgentemente. Hay un tipo de reparación que restituye las características de resistencia original de la estructura, pero por limitaciones económicas los dueños deciden elegir reparaciones cosméticas y superficiales, que permiten ver superficialmente la estructura en buen estado, pero desde el punto de vista mecánico, la estructura continúa con daños.

Las técnicas más frecuentes para su reparación y refuerzo son el encamisado de concreto o con perfiles de acero y refuerzo mediante placas de acero [González et al, 2002]. En los años recientes, han surgido innovadoras técnicas de refuerzo con materiales compuestos.

Los materiales compuestos aparecieron durante la II Guerra Mundial y son materiales heterogéneos, constituidos por una matriz plástica orgánica (polímeros) asociada con una fibra de refuerzo, por lo general de vidrio o carbono, que puede ser de diferentes formas, sean partículas, fibras cortas, largas o continuas [Irías, 2013].

El reforzamiento con fibras de carbono, consiste en incorporar en la estructura fibras de alta resistencia y una matriz, tal que ambas conserven su integridad física e identidades químicas [Mallick, 2008]

En las últimas décadas, la aplicación de compuestos de fibra de carbono para el refuerzo de estructuras, empieza a ser una alternativa de refuerzo común y sus propiedades conseguidas pueden ser superiores por la mayor resistencia mecánica y a la corrosión.

Son importantes también sus características de ligereza y rapidez, además de los ahorros obtenidos en el proceso total del refuerzo [Gómez et al, 2003].

Las estructuras de hormigón armado se analizan y diseñan para que completen su vida útil dentro de condiciones aceptables de servicio y resistencia, pero en el proceso de construcción y uso pueden surgir situaciones que afecten negativamente la capacidad esperada y en ciertos casos, estas fallas podrían llevarlas al colapso.

A lo largo de su servicio, la estructura se someterá a cargas muertas, vivas, ocasionales, sísmicas y de viento. Es probable que los materiales reciban el ataque de agentes externos, como la salinidad y es por ello que cada cierto tiempo es conveniente realizar chequeos de la estructura y someterla a etapas de reparación y reforzamiento con el objetivo de restaurar sus capacidades.

En este trabajo se plantea el estado del arte sobre el material de refuerzo de fibra de carbono, su composición y su utilización en una estructuras de concreto.

## TIPOS DE INTERVENCIÓN EN ESTRUCTURAS

Los trabajos de actualización de estructuras se pueden clasificar de la siguiente manera:

*Reforzamiento:* aumento de secciones o adición de materiales nuevos que aumenten la capacidad resistente de los elementos estructurales y de la estructura en su conjunto.

*Reparación estructural:* Intervención sobre fallas y fisuras que intenta restituir las características iniciales de resistencia de la estructura, luego de un evento extraordinario que le provocó daños.

*Restauración:* Intervención sobre la edificación orientada a recuperar las características arquitectónicas, pero sin restituir las características estructurales de resistencia mecánica.

*Rehabilitación:* Intervención en una estructura para ponerla en funcionamiento, luego de ser afectada por un evento muy fuerte.

Los casos en que debe de aplicarse el reforzamiento de estructuras son los siguientes:

- *Estructuras sin respaldo técnico:* Cuando una estructura fué construida de manera no técnica, sin respaldo y sin cumplir la norma sísmica,

debe ser inmediatamente analizada y reforzada.

- *Cambio en el uso de la edificación:* Cuando una estructura fué diseñada para un propósito y el mismo se cambia a lo largo de su vida útil, debe de considerarse un rediseño y un reforzamiento. Un ejemplo sencillo es cuando el edificio fue diseñado para vivienda y ahora se utiliza para almacén o bodega y requiere de una carga mayor.
- *Fallas en la fase diseño:* Cuando se sospecha de vicios o fallas estructurales en la etapa de diseño, especialmente en lo que concierne al área donde se asumen errores. Estos errores normalmente se identifican por fisuras, hundimientos, o fallas localizadas.
- *Fallas en la fase construcción:* Cuando se sospeche de vicios o fallas estructurales en la etapa de construcción. Debe realizarse un chequeo, especialmente en el sector donde se observan fallas y deterioros.
- *Deterioro de los materiales:* Cuando se sospeche o se haya recabado suficiente información sobre el deterioro de los materiales constitutivos de la estructura, como el hormigón o el acero.
- Cuando se produzcan daños a la edificación debido a cargas accidentales como explosiones, fuego, impacto, cargas sísmicas o de viento.
- *Vida útil de la edificación:* Cuando se conozca que la estructura llegó o pasó su vida útil, debe realizarse un chequeo completo, con un modelo de análisis y chequeo de las características de los materiales de la edificación.

### **TIPOS DE REFORZAMIENTO**

*Reforzamiento por aumento de secciones:* Se aplica cuando se ha determinado que las secciones de la estructura no son suficientes frente a las cargas que deberá resistir.

*Reforzamiento por deterioro de varillas de acero:* Cuando se determina que, por los ataques químicos o ambientales, los aceros de la estructura están muy desgastados. La estructura tiene un déficit de capacidad de resistencia ante esfuerzos tensionales, ya que el hormigón no es capaz de resistir solvemente este tipo de esfuerzos, poniendo en peligro la estabilidad de la estructura.

La fibra de carbono es un elemento que puede aportar con el refuerzo a tensión, siendo de alta resistencia, de fácil colocación y además con una capacidad mayor inclusive que el mismo acero para resistir esfuerzos tensionantes. También la fibra de carbono puede aportar confinamiento al material.

### **REFORZAMIENTO POR FISURAS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

En el caso de producirse fisuras de los elementos estructurales, debe hacerse un estudio profundo de la razón de estas fisuras. Deben analizarse la dimensión de las fisuras, su ubicación y su ángulo para identificar la razón de las mismas. Debe estudiarse la posibilidad de reemplazar elementos o porciones de elementos dañados o en el reforzamiento de elementos a través de fibras de carbono.

### **LA FIBRA DE CARBONO**

El nombre de fibra de carbono es otorgado porque contiene hilos compuestos de mini filamentos de carbono, con diámetros entre 5 y 10  $\mu\text{m}$  (Llano, 2009).

Su composición atómica es cercana al grafito. En el grafito los microfilamentos o placas de carbono se colocan ordenadamente unas sobre otras y se entrelazan con fuerzas débiles, por lo que el grafito es blando y muchas veces transparente. En el caso de la fibra de carbono, miles de microfilamentos se apilan de manera desordenada y densa, lo que le da gran resistencia al material.

Se considera que la fibra de carbono tiene mejores características que el acero ya su resistencia mecánica es 10 veces mayor. Adicionalmente es un material muy liviano, como el plástico, con una densidad de 1.750  $\text{kg/m}^3$  (Bolufe et al 2007).

### **TELA DE FIBRA DE CARBONO**

La fibra de carbono se comercializa en forma de tela con diferentes espesores. Sus características principales son las siguientes:

- Elevada resistencia a la tensión y compresión.
- Elevado precio.
- Muy liviano y con una alta relación resistencia/peso.
- Estable ante ataque de agentes externos.
- Elevado módulo de elasticidad.

### **ORIGEN DE LA FIBRA DE CARBONO**

La fibra de carbono se utilizó por primera vez en 1879. Thomas Alba Edison lo patentó para utilizarlo como filamento para la bombilla eléctrica.

En 1958, Robert Bacon generó una investigación sobre fibras de alto rendimiento en el Centro Técnico de Union Carbide en Parma en Cleveland, Ohio, lamentablemente este procedimiento fue muy poco efectivo ya que provocaba la acumulación de solamente el 20% del carbono.

En 1960, en Japon, Akio Shindo de la Agencia de la Ciencia Industrial Avanzada y Tecnología, utilizó por primera vez el poliacrilonitrilo (PAN) y se obtuvo una muestra de fibra de carbono con pureza de 55 %. El proceso se ha mejorado y hoy en día es posible producir hilos con purezas del 95 al 99 % de carbono.

La fibra de carbono es un material compuesto, relativamente caro frente a los materiales que normalmente se utilizan en la construcción. Se comercializa principalmente para la industria automotriz y de aviación debido a que resiste muy bien los altos esfuerzos y tiene bajo peso.

La fibra de carbono se compone de hilos de carbono entrelazados sobre una matriz, normalmente epoxica, a la que se le adiciona un agente endurecedor.

### **COMPONENTES DE LA FIBRA DE CARBONO**

El componente más importante de la fibra de carbono es el PAN (poliacrilonitrilo). Los hilos de PAN entrelazados conforman la fibra de carbono.

El petróleo está constituido principalmente de carbono, el cual procede de una fuente de fósiles orgánicos, por lo que, la mayoría de los componentes de la fibra de carbono provienen del petróleo.

### **CRITERIOS DE PRODUCCION**

A través de un proceso de calentamiento del PAN, las moléculas diferentes al carbono, salen del compuesto, mientras las moléculas de carbono se reordenan, conformando una unión hexagonal fuerte. Así, la fibra de carbono resulta de la quema del elemento precursor que elimina los compuestos químicos extraños.

El procedimiento más utilizado para producir la fibra de carbono es el siguiente:

A una temperatura de 300 °C el material es estirado en un horno especial, provocando el alineamiento de las moléculas para su estabilización. Después de 1000 °C se queman los rastros de nitrógeno o hidrógeno y las moléculas de carbono se orientan de forma hexagonal a lo largo de la fibra. Adicionando un nuevo periodo de calentamiento a 2000 °C, se le aplica finalmente un catalizador que provee de adherencia a la fibra.

El resultado obtenido son filamentos de carbono con una pureza del 95 al 99 %. Este material es trefilado a diámetros de 5 a 10 um, 5 veces más fino que un cabello humano. Los hilos trefilados de carbono se

les conocen como “mechas de carbono”, estas mechas se trenzan en ambas direcciones de manera que se forme una tela.

Existen varios tipos de trenzado según el uso del material. Existe el trenzado llamado *roving* donde intervienen 12,000 filamentos. Un trenzado más fuerte es llamado *heavy roving* o trenzado pesado que incluye hasta 400,000 filamentos y produce un material mucho más resistente. Una vez realizado el trenzado, la tela resultante se somete a un proceso donde se le aplica la resina epóxica y el catalizador. De acuerdo con el tipo de trenzado se puede especificar que la resistencia del tejido sea mayor en una dirección que en otra. La resistencia de la fibra de carbono se puede observar en el momento de un impacto, donde la fuerza del objeto que impacta se distribuye entre miles de hilos de carbono. Ello provoca que en muchos casos el material ni se deforme.

El segundo componente es la resina, un agente que se endurece en presencia de un catalizador. La resina más utilizada es una tipo epóxica, llamada *diglicidil-eter de bisfenol* o BADGE (López F et al., 2000) que supera la resistencia de otras resinas como la poliéster, además de resistir temperaturas superiores a 200 °C y la corrosión y ataque de varios agentes químicos.

Dependiendo del producto utilizado, una fibra conocida en el mercado como UHM puede alcanzar una resistencia a la tracción de 2400 MPa. De forma similar la fibra tipo IM, podría llegar a tener una resistencia a la tracción de 6200 MPa con un módulo de elasticidad de 234.4 GPa (Bernal et al, 2009).

### **VENTAJAS DEL USO DE FIBRAS DE CARBONO EN ESTRUCTURAS**

Entre las ventajas de usar la fibra de carbono como estructura de refuerzo están: mayor resistencia a los impactos, mayor resistencia al fuego y mejor aislamiento térmico. El aumento de la resistencia aporta mayor capacidad a esfuerzos de tensión y confinamiento de los elementos compuestos.

La fibra de carbono puede ser utilizada para reforzar vigas y restaurar su capacidad a la tensión, así como aumentar o reconstruir el confinamiento. En el caso de las vigas se puede utilizar en tiras para ayudar a la captación de los esfuerzos tensionantes en el caso de que las varillas de acero estén muy deterioradas.

En las columnas, se considera una mejor disposición la colocación de un encamisado con fibra de carbono, restaurando su capacidad para resistir

esfuerzos de tensión cuando el acero ha dejado de ejercer su función y aumenta el confinamiento.

### **CONCLUSIONES**

Muchas estructuras por haber superado su vida útil o haber sobrepasado un evento catastrófico requieren de una intervención para restaurar su capacidad. El objetivo es dar seguridad para que la estructura pueda superar con solvencia cualquier demanda de fuerza excepcional que se pueda provocar. Una forma muy moderna y práctica de restaurar la capacidad de una estructura es la fibra de carbono ya que este material ofrece características excelentes para la asimilación de esfuerzos y es poco vulnerable

a ataques externos. La fibra de carbono fue patentada hace casi 200 años pero su uso se populariza a partir de los años ochenta, donde se utiliza en automóviles, naves espaciales y en la construcción. La fibra de carbono es 10 veces más resistente que el acero, ya que puede alcanzar una pureza de hasta el 99% de carbono. Una tela de fibra de carbono puede llegar a tener hasta 400,000 hilos más delgados que un cabello humano que se unen para generar su gran resistencia. En la construcción, utilizar fibra de carbono, actualmente, es caro en comparación con otros materiales pero ofrece beneficios superiores que cualquier otro.

### **REFERENCIAS**

- Belouar A., A. Laraba, R. Benzaid y N. Chikh. "Structural performance of square concrete columns wrapped with CFRP". The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering. Solo, Indonesia. 2013, pp 232-240
- BERNAL, Susan, et al. Morteros geopoliméricos reforzados con fibras de carbono basados en un sistema binario de un subproducto industrial. *Rev. Lat. Metal. Mater S*, 2009, vol. 1, p. 587-592.
- Iriás A. "Refuerzo de elementos estructurales con hormigones con fibra o solo fibras". Tesis de Master Universitario en Ingeniería de las Estructuras, cimentaciones y Materiales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2013
- Flores L., "Fibras de carbono: Reforzamiento de estructuras" PUCP Civilizate, Vol 3, pp 46-48, 2013.
- Gómez M., Sobrino J.. "Criterios de diseño para el refuerzo de estructuras con materiales compuestos con fibra de carbono." *Revista de Ingeniería*, no 18, p. 85-99. 2003
- González Cuevas O.; J. Guerrero Correa; D. Arroyo Espinoza y L. Quiroz Soto. "Efecto de la fibra de carbono en las propiedades mecánicas de vigas de concreto reforzado". XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Puebla, México, 2002.
- López-Fabal, M. F., et al. Determination of bisphenol a diglycidyl ether in plastic materials based on epoxy resins. *Cyta-Journal of Food*, 2000, Vol. 3, No 1, P. 6-12.
- Llano Uribe C. (2009). Fibra de carbono, Presente y futuro de un material revolucionario. REVISTA METAL ACTUAL. Bogotá. D.C, Colombia. <http://www.metallactual.com/revista/11/materialescarbono.pdf>
- Mallick P.K. "Fiber-reinforced composites" 3ra edición, Michigan, E.E.U.U. CRC Pres, 2008, páginas 19-34
- Rosero L. "Reforzamiento de estructuras de hormigón armado con FRP. Aplicación al caso de refuerzo de una losa y columnas de un salón de audiovisuales y un auditorio" Tesis de Grado de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui, Ecuador. 2013
- Pascual Bolufe. (2007). La fibra de carbono, un material para el siglo 21. 15/03/2007, de INTEREMPRESAS. <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/16574-La-fibra-de-carbono-un-material-para-el-siglo-21.html>

---

Este documento debe citarse como: **Moncayo Theurer, M., Rodríguez, J., Alcívar, López, Soriano, Villacis** (2016). **Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 29-1, pp. 57-62.