

FIBRAS DE CARBONO: REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS

*Autor: Luis Flores Tantaleán, Ingeniero Civil
Gerente General de Fibrwrap Construction Perú SAC
Vice-Presidente del ACI Capítulo Peruano
lflores@fibrwrap-la.com*

Muchas veces, un diseño estructural o una construcción deficiente, la corrosión del acero de refuerzo, el cambio de uso de una edificación de vivienda a oficinas o un incremento en las cargas de diseño previamente estimadas, sumados a innumerables efectos ambientales, crean la necesidad de pensar en aumentar la resistencia de la estructura mediante un reforzamiento. En el Perú, históricamente, el reforzamiento se ha hecho de manera convencional, ya sea agregando elementos estructurales como columnas o placas, agrandando las medidas de las secciones transversales o colocando elementos metálicos que ayuden a tomar las cargas presentes en la edificación.

Sin embargo, desde hace más de 10 años, cada vez es más frecuente en el Perú el uso de un sistema de reforzamiento estructural basado en un material de alta tecnología que presenta innumerables ventajas frente a los métodos convencionales: la fibra de carbono, un polímero 10 veces más resistente a la tracción que el acero (35 500 kg/cm²vs. 4 200 kg/cm²) y mucho más liviano.

La fibra de carbono es un polímero que se obtiene al calentar sucesivamente a altas temperaturas -hasta 1500 °C- otro polímero llamado poliacrilonitrilo. Este proceso de recalentamiento da lugar a la formación de unas cintas perfectamente alineadas de casi carbono puro en su forma de grafito, por ello su nombre de fibras de carbono.

Aunque en el país se viene aplicando el uso de esta fibra desde hace 10 años, no es una novedad, pues en el mundo se utiliza este material desde hace más de 40.

De todos los sistemas de reforzamiento estructural disponibles en el Perú, el que más acogida ha tenido, por las ventajas que ofrece, es el de láminas de fibras de carbono. Una o varias capas de láminas – dependiendo del requerimiento estructural y características de la fibra - son colocadas alrededor o debajo de las secciones de concreto por reforzar, y junto a un sistema adhesivo epóxico especial se logra una total adherencia a la antigua superficie de concreto. Con ello se obtiene una capa externa de reforzamiento que ayuda a soportar las cargas del elemento y previene deflexiones excesivas. Cabe mencionar que este sistema está normado por el American Concrete Institute (ACI) y por los fabricantes de las fibras.

El correcto funcionamiento del sistema FRP (siglas en inglés de FiberReinforcedPolymer) es asegurado cuando existe una adecuada adherencia a la cara de concreto. Dos factores importantes en el proceso de reforzamiento son la mano de obra especializada en su uso y aplicación, y el control de calidad de la superficie por reparar. Otros factores también importantes son los siguientes:

- Resistencia a la tracción de la superficie del concreto.
- Uniformidad y espesor de la capa de adhesivo.
- Resistencia y perfecta reacción química del sistema epóxico de adhesión.
- Geometría del elemento por reforzar.
- Condiciones ambientales en el momento de la aplicación.

Los sistemas de reforzamiento FRP deben ser diseñados para resistir las fuerzas de tracción, manteniendo el equilibrio de esfuerzos entre la tensión en el FRP y la base de concreto. Como consecuencia, la resistencia a la compresión del refuerzo debe ser despreciada.

En el Perú hay diferentes sistemas de reforzamiento con fibra de carbono, y cada una de ellas provee hojas técnicas para el producto y su instalación. Además de ello, para una correcta aplicación de la fibra, se debe revisar el manual ACI-440, que proporciona una guía de instalación de los sistemas FRP y recomendaciones, como las siguientes:



Figura 1: *Habilitación de la manta de fibra empleando la máquina Saturadora*



Figura 2: Preparación de la superficie de columna a reforzar con primer saturante

- **Experiencia del Contratista:** El contratista deberá demostrar experiencia probada en la preparación de la superficie del concreto e instalación de la fibra, basándose sobre documentos o trabajos previos realizados.

- **Consideraciones Ambientales de Temperatura y Humedad:**

Las condiciones ambientales, como temperatura, humedad y tiempo de aplicación, son factores que inciden directamente en el desempeño del sistema FRP. Cada condición debe ser evaluada, pues, por lo general, los imprimantes, las resinas saturantes y los adhesivos son muy susceptibles a no trabajar adecuadamente en condiciones límite, lo que puede afectar el desempeño del sistema FRP.



Figura 3: Colocación de la manta de fibra en la columna

- **Equipamiento:** Algunos sistemas FRP tienen un equipo especialmente diseñado para su aplicación, como máquinas saturadoras, rociadores, etc., lo cual ayuda a obtener un producto final garantizado. Esta tecnología de punta ya se viene empleando en el Perú, como en el caso del Proyecto Tren Eléctrico.

- **Reparación del Sustrato y Preparación de la Superficie:** El comportamiento del elemento de concreto con un sistema FRP depende de la preparación y estado del sustrato del concreto; por ello, es muy importante eliminar cualquier desperfecto y reparar cualquier cavidad que pudiera presentar. Así mismo, se debe asegurar el buen estado del acero de refuerzo embebido en el concreto, el cual no debe mostrar síntomas de corrosión. Cualquier fisura existente deberá ser llenada o inyectada antes de la colocación de la fibra.



Figura 4: Colocación de recubrimiento protector a la fibra de carbono



Figura 5: Columna ya reforzada

- **Mezclado de la Resinas:** Se deberá seguir las recomendaciones y procedimientos establecidos por los fabricantes, como el tiempo recomendado de mezclado para obtener el estado ideal de uso.

- **Impregnación o Saturación de la Fibra:** Con el fin de asegurar un correcto impregnado de la fibra con la resina, se puede emplear máquinas para asegurar la total saturación de todos los hilos de la fibra. De esta manera, se evitará vacíos o las uniformidades que se presentan con la saturación manual de la fibra. Asimismo, el uso de estas máquinas asegura la minimización del desperdicio de la resina y la optimización de los compuestos.

- **Colocación y Alineamiento de las mantas de la fibra:** Pequeñas variaciones angulares en obra, como de 5°, pueden causar una sustancial reducción de la resistencia. Las láminas o capas deberán ser colocadas teniendo en cuenta el número, la cantidad y dirección, según lo dispuesto por el diseño.

- **Curado de las Resinas:** El curado de las resinas depende de las condiciones atmosféricas y del tiempo. Las variaciones en la temperatura ambiental pueden dilatar o acelerar el proceso de curado; por ello, en condiciones climáticas adversas, se deberá tomar precauciones que permitan un completo curado de las mismas.

- **Protección del Sistema FRP:** El contacto directo con polvo, lluvia, humedad, luz solar o quizás ser objeto de vandalismo pueden ocasionar el deterioro del sistema FRP durante y después de su colocación. Por ello, es recomendable usar un recubrimiento protector que sea compatible con el sistema FRP empleado. Usualmente, los fabricantes no aceptan el uso de solventes por posibles efectos sobre las resinas.

Existen múltiples beneficios en este sistema de reforzamiento, lo cual explica su amplia aplicación en el sector de construcción. Estas ventajas se pueden resumir en las siguientes características:

- Peso muy liviano
- Alta durabilidad, anticorrosivo y bajo mantenimiento
- Rápida instalación, lo que se traduce en ahorro de dinero y tiempo de espera
- Mínimo incremento de espesor en la geometría del elemento
- Muy flexible, adaptable a todas las formas de los elementos

Sus aplicaciones más usuales son en columnas, vigas, placas, losas aligeradas y macizas, y vienen determinadas por los siguientes factores:

- Cambios en el uso o cargas en las edificaciones.
- Defectos en el diseño o construcción.
- Cambios en las normas de diseño.
- Daños sísmicos.

REFORZAMIENTO FRP EN EL PROYECTO TREN ELECTRICO

Se concluyó exitosamente el proyecto de reforzamiento con fibra de carbono de 13 mono-columnas y 26 bi-columnas existentes para la primera etapa del Tren Eléctrico de Lima, dentro del proyecto de adecuación a las normas sísmicas vigentes de las estructuras que se comenzaron a construir hace más de 26 años. Para este proyecto, la empresa que ejecutó el mismo, FIBRWRAP CONSTRUCTION PERU SAC, importó lo último en equipos y tecnología en este campo, marcando un nuevo estándar en la ejecución de este tipo de proyectos.

El proyecto fue exitoso, pues se logró cumplir con los plazos y alcances acordados bajo garantías de calidad que permitieron contribuir a que Lima goce de un eficiente sistema de transporte masivo.



Figura 6: Tren eléctrico, Línea 1