



## Uso de polímeros reforzados con fibras (FRP) como refuerzo externo de elementos de concreto de puentes en Costa Rica

**Ing. Rolando Castillo, PhD.**

Coordinador  
Unidad de Puentes, PITRA, LanammeUCR

### 1. Introducción

El deterioro que se observa en losas, vigas, columnas, uniones viga-columna, pilas, bastiones de muchos puentes de nuestro país es atribuido al envejecimiento, a la degradación por factores ambientales, a la falta de mantenimiento y/o al efecto de eventos naturales tales como son los terremotos y los ríos. Este deterioro combinado con un aumento en el tráfico vehicular; que excede la carga de diseño del puente, ha acelerado el daño sobre éstas estructuras a tal punto que la vida útil de muchos puentes en el país se ha visto reducida. Este panorama nos hace meditar en la necesidad de buscar soluciones de reforzamiento de fácil y rápida aplicación.

Entre las tecnologías de vanguardia para el refuerzo estructural de elementos de concreto de puentes y edificios se encuentra el uso de Polímeros Reforzados con Fibras (PRF) o Fibre Reinforced Polymer (FRP) como es conocido en el mundo anglosajón. El uso de éstos materiales compuestos es una alternativa comúnmente utilizada en países desarrollados como EUA, Japón, Canadá y Europa donde se han utilizado no solo como refuerzo externo (Ver Figura 1) sino también como sustitución del acero estructural y como un aditivo en concretos de alta y ultra alta resistencia mediante el uso de micro fibras. El material FRP resulta ser una opción competitiva a mediano y largo plazo si se compara con sistemas convencionales de reforzamiento y se toman en consideración las desventajas que estos sistemas convencionales presentan.

En el caso de Costa Rica, la práctica de utilizar materiales FRP para refuerzo externo de elementos de concreto no se ha

desarrollado lo suficiente. Estos materiales compuestos han sido utilizados para reforzar elementos de concreto en edificaciones, sin embargo, nunca se han utilizado para reforzar elementos de concreto en puentes. La razón de tal rezago aparenta estar ligado al desconocimiento por parte de los ingenieros de puentes de las propiedades y el comportamiento del material, porque no se tiene claro cuáles son sus ventajas y desventajas y porque se tiene la percepción de que su alto costo le resta competitividad.

El presente artículo tiene el objetivo de presentar información técnica sobre los polímeros reforzados con fibras con la intención de diseminar información sobre lo que son estos materiales, de que consisten, cuáles son sus ventajas y desventajas y su futura aplicación en puentes de Costa Rica.

Comité editorial del boletín



**2010**

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar  
Coordinador General PITRA, LanammeUCR

Sra. Ana María Arroyo Acosta  
Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica, PITRA

Mauricio Bolaños Barrantes  
Diseñador Gráfico



**Figura 1**

Ejemplos de reforzamiento externo de elementos de concreto con materiales FRP. (a) Refuerzo de una unión viga-columna y (b) refuerzo de una columna corta [1]

## 2. Componentes y Propiedades de los materiales FRP

Los polímeros reforzados con fibras (FRP) es un material compuesto el cual consiste de fibras, una matriz y adhesivos.

### 2.1 Fibras

Las fibras son las responsables de brindarle las propiedades estructurales al material compuesto debido a que su rigidez y resistencia es mucho mayor que la de la matriz. Las fibras empleadas propiamente como refuerzo, consisten en fibras pequeñas, continuas y con una direccionalidad dada.

Existen tres tipos de fibra predominantemente utilizadas con polímeros: la fibra de vidrio (GFRP), la fibra de aramida (AFRP) y la fibra de carbono (CFRP). La tabla 1 presenta un resumen de las características mecánicas de estas fibras las cuales se describen a continuación.

Las fibras de vidrio (GFRP) tienen como principal ventaja su bajo costo sin embargo son menos resistentes que otros tipos de fibras. Existen tres tipos de fibra de vidrio: tipo E, S y AR. Estas fibras se diferencian entre sí en su resistencia al álcali y en su resistencia mecánica.

Las fibras de aramida (AFRP) tienen como ventaja su buen comportamiento ante cargas cíclicas y su alta dureza. Poseen una estructura anisotrópica (mayor resistencia y módulo de elasticidad en el sentido longitudinal), presentan una respuesta elástica lineal cuando se les carga en tensión y presentan un comportamiento no lineal cuando trabajan en compresión. La fibra marca Kevlar es la fibra aramida más reconocida.

Las fibras de carbono (CFRP) son las más conocidas y utilizadas debido a que presenta mejores propiedades mecánicas en comparación con los otros tipos de fibra (Ver Tabla 1). Estas son fabricadas con polímeros tipo PITCH o PAN. Las fibras a base de polímeros PITCH se

fabrican de petróleo refinado o brea, ofrecen materiales de uso general y poseen una alta resistencia y un alto módulo de elasticidad. Las fibras PAN están hechas con poliácronitrilo y producen una material de alta resistencia y alto módulo de elasticidad.

### 2.2. Matriz

La matriz de un material compuesto se encarga de proteger las fibras contra la abrasión y la corrosión ambiental, mantiene las fibras unidas y distribuye la carga entre ellas. Esta puede ser del tipo termoendurecible (tipo más común) o termoplástico. Los materiales termoendurecibles son materiales originalmente suaves que al recibir calor se convierten en sólidos insolubles; una acción que no es reversible. Por el otro lado, los materiales termoplásticos se comportan como un líquido cuando se les transfiere calor. La matriz utilizada influye grandemente en muchas de las propiedades mecánicas del material tales como su módulo y resistencia transversal y sus propiedades de cortante y compresión.

Los tipos de matrices más comunes son las resinas epóxicas, el poliéster y el viniléster. Estos polímeros son del tipo termoendurecible, de gran resistencia química y fácil de procesar. Las resinas epóxicas tiene mejores propiedades mecánicas que los poliéster y viniléster y una durabilidad excepcional. Por el otro lado, los poliéster y viniléster son más baratos.

### 2.3. Adhesivos

Los adhesivos son los materiales utilizados para adherir el material FRP a la superficie de concreto, con el fin de que se dé una adecuada transferencia de carga por cortante entre el elemento de concreto y el sistema FRP y así trabajen como una sección compuesta. Generalmente, se componen de una mezcla de resina epóxica (polímero) con un endurecedor. Las características de los adhesivos se pueden variar para adaptarse a las necesidades del trabajo a realizar.

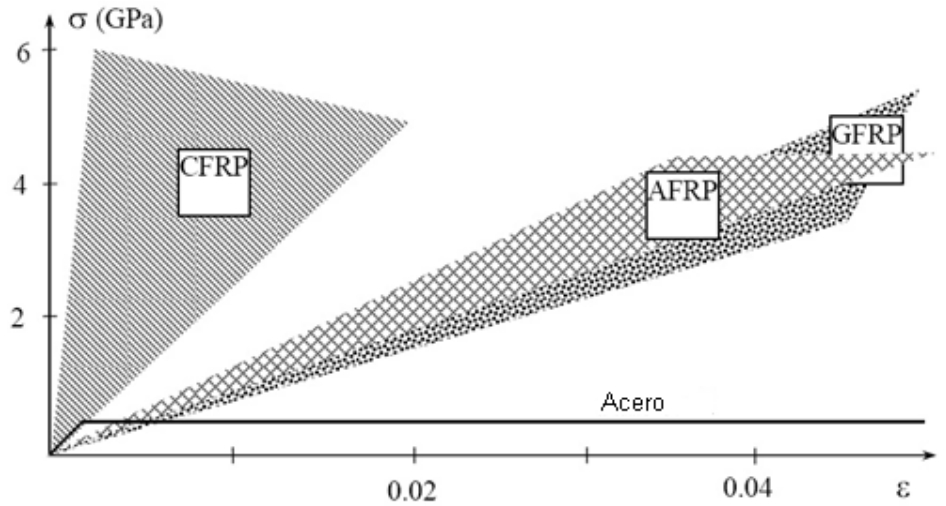
Material	Módulo de elasticidad (GPa)	Resistencia a la tensión (MPa)	Deformación última a la tensión (%)
<b>Carbono</b>			
Alta resistencia	215-235	3500-4800	1,4-2,0
Ultra alta resistencia	215-235	3500-6000	1,5-2,3
Alto módulo	350-500	2500-3100	0,5-0,9
Ultra alto módulo	500-700	2100-2400	0,2-0,4
<b>Vidrio</b>			
E	70	1900-3000	3,0-4,5
S	85-90	3500-4800	4,5-5,5
<b>Aramida</b>			
Bajo módulo	70-80	3500-4100	4,3-5,0
Alto módulo	115-130	3500-4000	2,5-3,5

**Tabla 1**

Propiedades mecánicas típicas de las fibras utilizadas en los FRP [1]

## Figura 2

Figura 2. Ejemplos de aplicación manual de materiales FRP. (a) Instalación de una tira y una lámina de material FRP a una viga y (b) instalación de cintas prefabricadas de FRP a una losa de concreto [1].



Para poder comprender con mayor facilidad las diferencias en resistencia que se obtiene de los polímeros reforzados con fibras, la Figura 2 compara las curvas esfuerzo-deformación de materiales FRP fabricados con los tres tipos de fibras previamente expuestas y la curva típica del acero estructural. Es evidente la gran resistencia que ofrece los materiales FRP a base de fibras de carbono (CRFP) en comparación con materiales a base de fibras de aramida o de vidrio y el mismo acero estructural.

### 3. Sistemas de reforzamiento externo utilizando materiales FRP

Existen dos sistemas para el reforzamiento externo de elementos de concreto: los sistemas de curado en sitio y los sistemas de elementos prefabricados (o pre-curados).

#### 3.1 Sistemas de curado en sitio

Estos sistemas también conocidos como sistemas de colocación húmeda (wet lay-up), puede disponer de las fibras ya sea en una o en varias direcciones, cubriendo parcialmente o totalmente el elemento (Ver Figura 3). La superficie de concreto debe tratarse previamente para promover

la adherencia. Su instalación se puede realizar de dos maneras:

- La fibra se aplica directamente sobre la resina la cual ha sido previamente aplicada sobre la superficie del concreto.
- La fibra es impregnada con la resina en una máquina saturadora y luego aplicada húmeda a la superficie del concreto.

#### 3.2. Elementos pre-curados

Los elementos prefabricados pueden ser cintas o láminas rectas o también elementos con formas predefinidas tales como cascaras, chalecos o angulares los cuales se instalan con adhesivos. Estos elementos se encuentran listos para ser instalados en obra por medio de adhesivos fríos.

### 4. Técnicas de aplicación de materiales FRP

Existen dos técnicas para la aplicación de materiales FRP a elementos de concreto: la técnica básica y la técnica especial.

La técnica básica consiste en la aplicación manual de los sistemas de curado en sitio y elementos prefabricados. (Ver Figura 3)

La técnica especial consiste en la aplicación de los sistemas de reforzamiento antes expuestos según

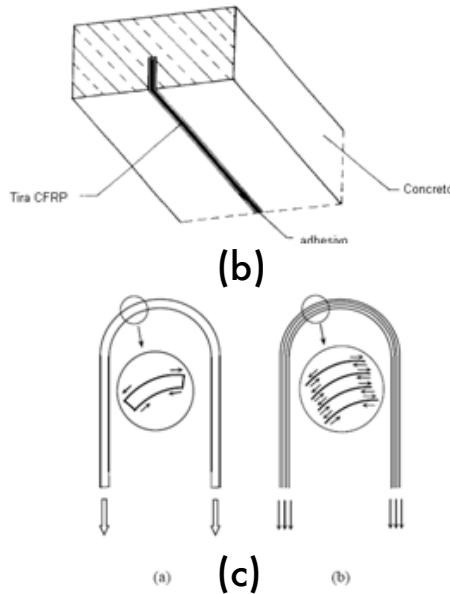
métodos especializados, en muchos casos patentados, que se explican a continuación.

- Envolver automáticamente los elementos de concreto con fibras húmedas de FRP mediante un robot especializado, lo cual permite garantizar la calidad del proceso así como una rápida aplicación (Ver Figura 4a).
- Adherir el material FRP a la superficie en un estado pre-esforzado.
- Adherir cintas de FRP con pines de carga mediante un proceso de fusión entre capas de FRP que permite el movimiento relativo de las fibras (Ver Figura 4c).
- Colocar el FRP mediante curado rápido en sitio empleando dispositivos de calentamiento (infrarrojo, calentadores eléctricos, entre otros) para disminuir el tiempo de curado.
- Adherir elementos preformados tales como angulares o cascaras de material FRP.
- Realizar rendijas en el concreto para colocar tiras de material FRP (Ver Figura 4b).
- Impregnar el material FRP a la superficie de concreto mediante el uso de bolsas de vacío

## Figura 3

Ejemplos de aplicación manual de materiales FRP. (a) Instalación de una tira y una lámina de material FRP a una viga y (b) instalación de cintas prefabricadas de FRP a una losa de concreto [1].





**Figura 4**

Ejemplos de aplicación por métodos especializados (a) Instalación automática de material FRP a una columna de concreto.(b) Esquema de la utilización de la técnica de rendijas interiores de RFP (c) Esquema izquierdo muestra el sistema tradicional de instalación de tiras de material FRP y el esquema derecho muestra el sistema de cintas de FRP adheridas con pines de carga [1].

## 5. Ventajas y desventajas de los materiales FRP

Las principales razones por las cuales estos materiales se están imponiendo en el campo del refuerzo de elementos de concreto son:

- Inmunidad a la corrosión
- Bajo peso, del orden de la cuarta parte en comparación con el acero
- Facilidad de aplicación en espacios confinados
- Reducción en los costos finales, especialmente de mano de obra
- Resistencia alta a la tensión axial.
- Rigidez que puede adaptarse a las necesidades del proyecto
- Disponibilidad casi ilimitada en tamaños y formas

Sin embargo, el uso de estos materiales también presenta desventajas tales como:

- Comportamiento lineal hasta la falla, sin deformaciones plásticas, lo que reduce la ductilidad de los elementos
- Costo elevado por peso de material FRP en comparación con el acero
- Coeficientes de expansión térmica incompatibles con el concreto
- Degradación y posterior colapso prematuro de las fibras al ser sujetas a temperaturas elevadas producto del fuego

- Los materiales son propensos a sufrir daños por impacto, vandalismo y/o accidentes debido a que son un refuerzo externo

- Técnicas de diseño empíricas poco desarrolladas y variabilidad de las propiedades de los materiales

## 6. Aplicaciones de materiales compuestos FRP en puentes de Costa Rica

Una gran cantidad de puentes en el país sufren de un severo deterioro debido al efecto de los sismos, los ríos y a la falta de un mantenimiento preventivo y correctivo. Este deterioro combinado con un incremento en el volumen de tráfico; el cual excede la carga de diseño original de los puentes, ha acelerado el daño de estos a tal punto que su vida útil se ha visto reducida substancialmente, o aun peor, requieren ser sustituidos.

Debidos a las razones arriba expuestas, el Gobierno de Costa Rica solicitó al Gobierno de Japón asistencia técnica para el establecimiento de un sistema de administración de puentes. En respuesta a esta solicitud se decidió conducir un estudio, para el cual se utilizó una muestra de 29 puentes a lo largo de carreteras nacionales esenciales por donde transitan camiones pesados, enfocado en la asistencia para el desarrollo de capacidad para el reforzamiento, rehabilitación y administración de puentes. El informe final de dicho estudio se presentó en Febrero del 2007 y es aquí donde se describe el proceso seguido de selección y

priorización de 10 puentes para su rehabilitación y reforzamiento. Como parte del mismo estudio, se realizó el diseño del reforzamiento de los puentes seleccionados y se logró constatar que en 5 de los 10 puentes seleccionados se recomienda utilizar materiales FRP para reforzamiento externo de elementos de concreto tales como la losa de concreto o las vigas principales. Los puentes a los cuales se recomienda el uso de materiales FRP como refuerzo externo son: Puente sobre el Rio Puerto Nuevo - Ruta 2(refuerzo de la losa), Puente sobre el Rio Nuevo - Ruta 2 (Refuerzo de las vigas principales), Puente sobre el Rio Chirripó-Ruta 32(refuerzo de la losa, Ver Figura 4), Puente sobre el Rio Torres-Ruta 218(refuerzo de las vigas principales) y Puente sobre el Rio Sarapiquí - Ruta 4(refuerzo de la losa).

Se estima que el costo del material FRP con fibras de carbono instalado a utilizar en el reforzamiento externo de los puentes antes mencionados varía entre los US\$400-\$650/m<sup>2</sup>. A manera de ejemplo, se estima que solo reforzar la losa de concreto del puente sobre el Rio Chirripó - Ruta 32 con material FRP, como se muestra en la Figura 5, tiene un costo aproximado de US\$2,100,000.00.

Una vez realizado el reforzamiento de dichos puentes es que podremos afirmar que en Costa Rica se han utilizado materiales FRP para el reforzamiento externo de elementos de concreto en puentes y es de esperar que esta técnica de reforzamiento tome popularidad.

Figura 4. Esquema del reforzamiento recomendado por el equipo JICA para el puente sobre el Rio Chirripó - Ruta 32 donde se indica usar material FRP para reforzar la losa del puente [2]

