

**Comportamiento a la flexión de un perfil en acero en I revestido con fibra de carbono de bajo módulo de Young.**

Agustín Salvador, Julio Gutiérrez, Juan Olivares y Roque Íacono

A. Salvador, J. Gutiérrez, J. Olivares y R. Íacono.  
Universidad Tecnológica de San Juan del Río. Av. La Palma 125. Vistahermosa. San Juan del Río, Querétaro,  
CP 76800. México  
asalvadora@utsjr.edu.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

## Abstract

This article presents the flexural behavior of a steel "I" when applied a thin layer of carbon fiber as a low modulus reinforcement. According to the results, it had a linear load in the range of 0 to 1250kg, which implies that the material worked in the elastic range. The modified carbon fiber Young's modulus of steel and coated profile makes 10% becomes more flexible.

## 12 Introducción

Desde hace aproximadamente 15 años las Fibras de Carbono en países como Japón, Estados Unidos de América, Canadá y Nueva Zelanda[1,2,3] se han venido empleando en la industria de la construcción en la rehabilitación y refuerzo de estructuras metálicas y de concreto, principalmente en puentes, túneles y edificios viejos. Gracias a los resultados que se han obtenido y a la relativa facilidad de su aplicación, ver Figura 11, su uso ya se ha empezado a masificar y en nuestro país ya se tienen reportados algunos caso de éxito[1] .

**Figura 12** Vigas de concreto de un puente reforzado con Fibra de Carbono

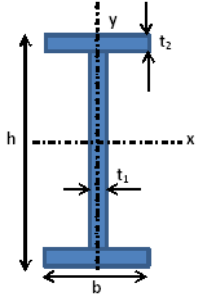


La calidad de las fibras que utilizaron corresponden a las clasificaciones IM y HM, módulo intermedio de 100 a 350 GPa y alto módulo de Young entre 350 y 450 GPa, respectivamente. Sin embargo, actualmente en nuestro país se tiene acceso a un tipo de Fibra de Carbono clasificada como de Bajo Módulo (LM), < 100 GPa y no se cuenta con información de su comportamiento mecánico como elemento de refuerzo. En este sentido, el presente artículo tiene por objetivo, determinar su comportamiento a la flexión al aplicarla sobre un perfil en "I" de acero.

### 12.1 Desarrollo

Materiales Perfil en "I" acero A36 la figura 11 presenta las dimensiones del perfil en "I".

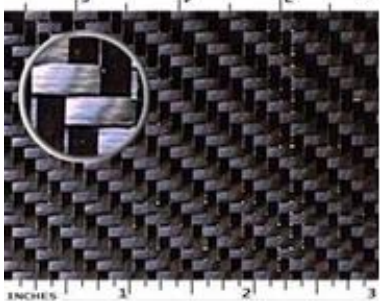
**Figura 12** Características del perfil “I”

	<p>Dimensiones</p> <p><math>h = 10 \text{ cm}</math></p> <p><math>t_1 = 0,46 \text{ cm}</math></p> <p><math>b = 5,57 \text{ cm}</math></p> <p><math>t_2 = 0,62 \text{ cm}</math></p> <p><math>L = 160 \text{ cm}</math></p>
---	---

Fibra de Carbono, FC

En la figura 12.1 se puede apreciar las características de la Fibra de Carbono.

**Figura 12.1** Especificaciones de la FC

	<table border="1"> <tr> <td>Descripción</td> <td>3K-70-P Ind</td> </tr> <tr> <td>Acabado</td> <td>Greige</td> </tr> <tr> <td>Armado</td> <td>Plano</td> </tr> <tr> <td>Tejido</td> <td>Pie 3K, Trama 3K</td> </tr> <tr> <td>Hilo</td> <td>12 x 12</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td>193g/m<sup>2</sup></td> </tr> </table>	Descripción	3K-70-P Ind	Acabado	Greige	Armado	Plano	Tejido	Pie 3K, Trama 3K	Hilo	12 x 12	Peso	193g/m <sup>2</sup>
Descripción	3K-70-P Ind												
Acabado	Greige												
Armado	Plano												
Tejido	Pie 3K, Trama 3K												
Hilo	12 x 12												
Peso	193g/m <sup>2</sup>												

Resina/Endurecedor

La resina que se utilizó es un Sistema epóxico compuesto de una resina, RE-7000-1 y un endurecedor HD-307, Proveedor Poliformas S. A de C.V. La Tabla 3, indica las especificaciones de la resina y del endurecedor, mientras que la Tabla 4, muestra las proporciones de la mezcla. Finalmente, la Tabla 5 destacan las propiedades mecánicas del sistema Resina/Endurecedor.

**Tabla 12** Especificaciones de la resina

	RE – 7000-1	HD-307
Apariencia	Líquido libre de grumos	Líquido libre de partículas en suspensión
Color Gardner, máx	2	< 9
Viscosidad, 25° C, cPoise	5000 - 9000	50 - 90
Peso específico, 25° C, gr/cc.	1.15 – 1.17	0.98 – 1.02

**Tabla 12.1** Relación de mezcla R/E

RE-7000 –1	100.0 Partes en peso
HD-307	15.0 Partes en peso
Tiempo de gelado, 25° C en 200 gr. de sistema, min.	30 – 40
Tiempo de manejo, min.	25 – 35

**Tabla 12.2** Propiedades típicas del sistema R/E

Esfuerzo a la tensión, psi	21000
Esfuerzo a la compresión, psi	18700
Esfuerzo a la flexión, psi	2900
Dureza, Shore D	90

### Revestimiento de FC

Todos los ensayos se hicieron con el mismo perfil. Para cada uno de los revestimientos se cortaron tiras de Fibra de Carbono del ancho del ala inferior, y del alma. La fibra de carbono se adhirió al perfil de acero utilizando el sistema epóxico que se menciona en la Tabla 12.2. La aplicación se hizo con brocha y se utilizó un rodillo de aluminio para quitar el exceso de resina. El resultado se puede apreciar en la Figura 12.2.

**Figura 12.2** Perfil en “I” A36 revestido con una capa de fibra de carbono

Ensayos de Flexión en 3 puntos y Procedimiento de Prueba: Los ensayos de Flexión se llevaron a cabo de acuerdo con los procedimientos de prueba establecidos en la norma ASTM E290-09. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility.

Máquinas de Flexión ISD/004: El perfil en “I” se ensayó en una máquina de flexión marca Didacta Italia modelo ISD/004, con capacidad de 5 Ton, Figura 12.3.

**Figura 12.3** Máquina de Flexión para perfiles de hasta 160 cm de longitud



Desarrollo Experimental: Los ensayos de flexión se llevaron a cabo como se indica en la Tabla 12.3. Como testigo primero se ensayó el perfil sin ningún revestimiento, enseguida se probó el perfil con en el ala inferior revestida con una capa de FC, y finalmente, se quitó el revestimiento del ala inferior y se forró el alma del perfil por ambos lados. Los resultados se pueden apreciar en las gráficas de las figuras 11.3.

**Tabla 12.3** Secuencia de ensayos de flexión

Testigo Sin FC Ensayo 1	Ala inferior 1 capa FC Ensayo 2	Alma 1 capa FC Ensayo 3

**12.2 Resultados**

Ensayos de Flexión

En la gráfica de la tabla 12.3 se muestran los resultados del ensayo a la flexión del perfil “1” con y sin revestimiento de FC. Claramente se observa un comportamiento lineal, congruente con el que sigue una viga a flexión, ec.(1).

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{PL^3}{48EI} \dots\dots\dots (1) \tag{12}$$

Despejando de esta ecuación como se muestra a continuación:

$$K = \frac{L^3}{48I} \dots\dots\dots (2) \tag{12.1}$$

$$P = \frac{E\delta}{K} \dots\dots\dots (3) \tag{12.2}$$

$$m = \frac{E}{K} \dots\dots\dots (4) \tag{12.3}$$

$$P = m\delta \dots\dots\dots (5) \tag{12.4}$$

$$E = mK \dots\dots\dots (6) \tag{12.5}$$

Donde:

- $\delta_{m\acute{a}x}$  = Deflexiónmáxima (mm)
- $P$  = Carga (Kg)
- $L$  = Longitud del perfil "I"(cm)
- $I$  = Momentopolardeineracia(cm<sup>4</sup>)
- $E$  = MódulodeYoung (MPa)
- $m$  = Pendientedelarecta;  $P = m\delta$  ( $\frac{Kg}{cm}$ )

Se puede determinar el Módulo de Young de cada estructura, calculando la pendiente, *m*, de la rectas, figs. 9 y 10, para luego multiplicarlas por sus respectivas constantes K`s, ec (6). Los resultados se apreciar en la Tabla 12.4.

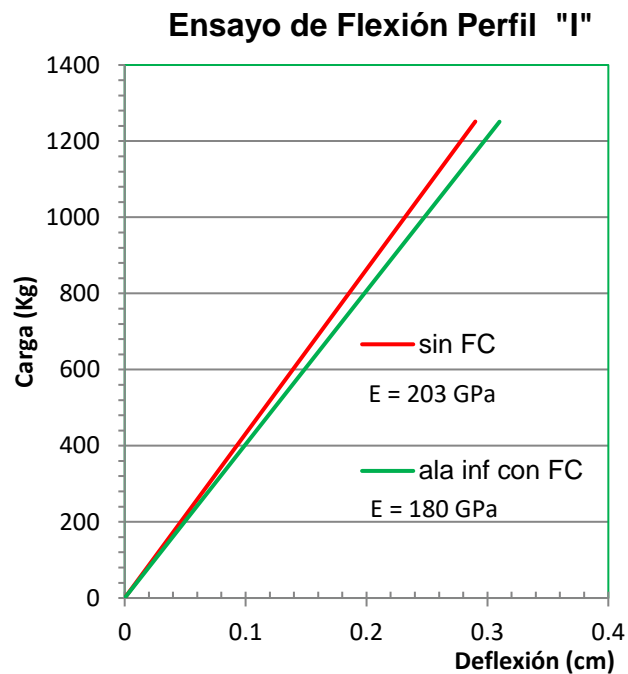
**Tabla 12.4** Cálculo del Módulo de Young del Perfil en I con y sin Fibra

Propiedades del perfil “I”	Sin	Con FC
----------------------------	-----	--------

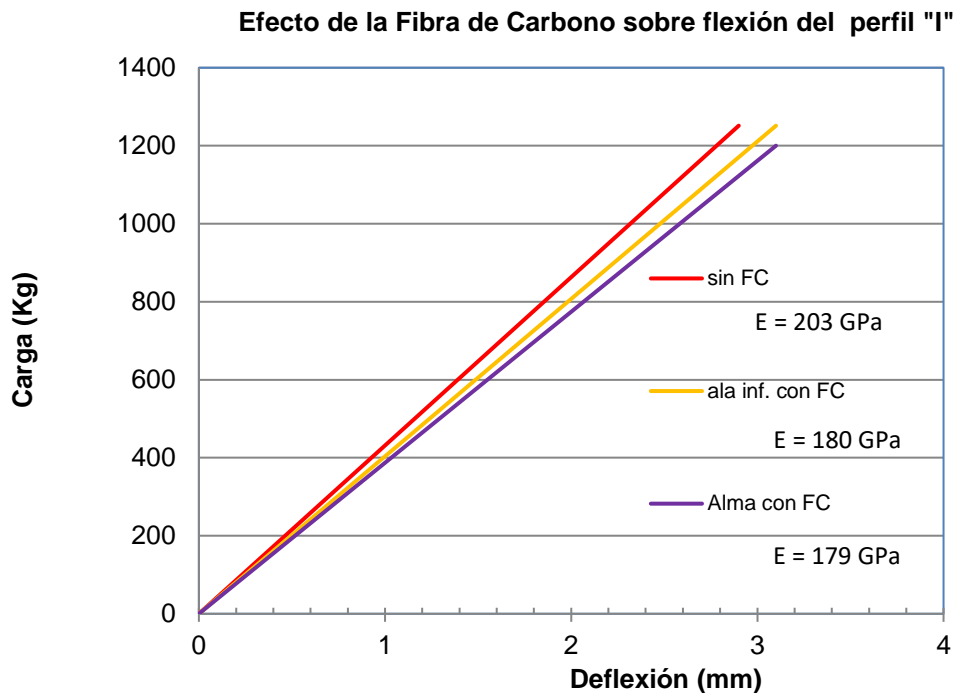
	FC	Ala	Alma
h= Altura (cm)	10	10.11	10
b=Ancho del ala (cm)	5.57	5.57	5.57
L=Longitud (cm)	160	160	160
t <sub>1</sub> = Espesor Alma (cm)	0.46	0.46	0.52
t <sub>2</sub> = Espesor Ala Sup.(cm)	0.62	0.62	0.62
t <sub>3</sub> = Espesor Ala Inf. (cm)	0.00	0.68	0.00
I (cm <sup>4</sup> ) =	178	188	181
K (cm <sup>-1</sup> ) =	480	456	471
m(Kg/cm) =	4315	4036	3871
E (Gpa) =	203	180	179

El cambio de pendiente que se observa se debe fundamentalmente al efecto del revestimiento de fibra de carbono sobre el acero, un menor Módulo estructuralmente hablando representa mayor flexibilidad de la estructura, para una misma carga la viga de acero con FC es un 11% más flexible que la de simple acero.

**Grafico 12** Gráfica comparativa entre los perfiles con y sin revestimiento de FC



**Grafico 12.1** Gráfica comparativa que muestra el efecto del revestimiento de FC sobre el comportamiento a flexión del perfil "I"



### 12.3 Conclusiones

El comportamiento lineal de los resultados pone de manifiesto que tanto el acero como el sistema acero/FC trabajaron dentro del rango elástico de los materiales.

El efecto de colocar una capa de fibra de carbono sobre un perfil de acero modifica sus propiedades estructurales. El Módulo de Young baja de 203 a 180 GPa, como se muestra en la tabla 12.1, lo que hace un 10% menos rígida la estructura. Este efecto elástico es más evidente cuando se incrementa la carga precedida de la pendiente como lo muestra la figura 10. Este hecho, en caso de un sismo tiene mucha aplicación ya que para una misma carga la estructura puede soportar mayor deformación.

### 12.4 Referencias

Olmos, B.A., Jara M., Rojas, R. Estado del Arte sobre rehabilitación de Vigas de acero empleando fibra de carbón. Ciencia Nicolaita No. 45. Diciembre 2006. Págs. 97-177.

Eriz, E., Parra-Montesinos, G., and Goel, S., (2004). Enhancing Plastic Hinge Behavior in Steel Flexural Members Using CFRP Wraps. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B. C., Canada, paper No. 2496, August 1-6.

Hooks J. M., (2001). Innovative Materials for Bridges of the 21<sup>st</sup> century. 46<sup>th</sup> International SAMPE Symposium, May 6-10.



Karbhari, V. M., and Shulley S. B., (1995). Use of Composites for Rehabilitation of Steel Structures-Determination of bond Durability. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 7, No. 4, pp. 239-244. November.

Katsuyoshi, N., and Hajjar, J.F., (2005). Effective Bond length of Carbon-Fiber-Reinforced Polymer Strips Bonded to Fatigued Steel Bridge I-Girders. *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 10. No. 2, pp. 195-205, March.

Miller, T. C., Chanjes, M. J., Mertz, D. R. and Hastings, J.N., (2001). Strengthening of a Steel Bridge Girder Using CFRP Plates. *Journal of Bridge Engineering*, Vol. &. No. &. Pp. 514-522. November.

Phares, B. M., Wipf, T. J., Klaiber, F.W., Abu-Hawash, A., and Lee Y. S., (2005). Strengthening of Steel Girder Bridges Using Fiber Reinforced Polymer (FCP). *Bridge Engineering Center Iowa State University*. [Http://www. Ctre. Lastate.edu/bec/presentations/MidCon\\_FRP.pdf](http://www.Ctre.Lastate.edu/bec/presentations/MidCon_FRP.pdf). (April, 25,2005).

Shield, C., Hajjar J., and Nozaka, K., (2003). Repair of Fatigued Steel Bridge Girder with Carbon Fiber Strips. Report No. MN/RC-2004-02, University of Minnesota, Department of Civil Engineering, December.

Tavakkolizadeh, M., and Saadatmanesh, H., (2003a). Strengthening of Steel –Concrete Composite Girders Using Carbon Fiber Reinforced Polymers Sheets. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, No. 1, pp. 30-40, January.