

# EFEKTOS DEL FUEGO EN VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO CON POLIMEROS REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO (PRFV) EFFECT OF FIRE ON GFRP REINFORCED CONCRETE BEAMS

MSc. Ing. ISEL del C. Díaz Pérez<sup>1</sup>, Dr. Ing. Rafael Larrúa Quevedo<sup>2</sup> Dr. Ing. Hugo Wainshtok Rivas<sup>3</sup>

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)<sup>1,3</sup>/ Universidad de Camagüey, "Ignacio Agramonte Loynaz", Facultad de Construcciones<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN

Los polímeros reforzados con fibras (PRF) son materiales que han ganado gran auge en los últimos años en la esfera de la construcción debido a sus altas bondades como no corrosión y elevada resistencia a tracción, que lo hacen competitivo ante el refuerzo tradicional de acero; no obstante, su menor resistencia a las elevadas temperaturas ha sido limitante para su empleo como material de refuerzo en estructuras de hormigón. En la actualidad no existen regulaciones que especifiquen procedimientos para la determinación de los esfuerzos resistentes para el diseño de elementos de hormigón armado con polímeros reforzados con fibras (PRF) en situación de incendio. Tomando en consideración que un incendio constituye una de las condiciones más severas a las que puede estar sometida una estructura en su vida útil, se hace evidente la necesidad de más investigaciones en esta dirección.

## INTRODUCTION

Fiber-reinforced polymers (FRP) are materials that have gained great popularity in recent years in the construction due to their high benefits such as non-corrosion and high tensile strength, which make them competitive with traditional steel reinforcement; however, its lower resistance to high temperatures has been limiting for its use as a reinforcing material in concrete structures. Currently there are no regulations that specify procedures for the determination of resistance forces for the design of elements of reinforced concrete with fiber-reinforced polymers (FRP) in fire situations. Taking into consideration that a fire constitutes one of the most severe conditions to which a structure can be subjected in its useful life, the need for more research in this direction becomes evident.



Imagen 1. Barra de PRF quemada / Image 1. Burnt FRP bar

## OBJETIVOS

Proponer un procedimiento para estimar la resistencia a momento flector en vigas de hormigón armado con barras de polímeros reforzados con fibras de vidrio en situación de incendio, partiendo de las premisas existentes para vigas donde se emplean como refuerzo barras de acero.

## OBJETIVES

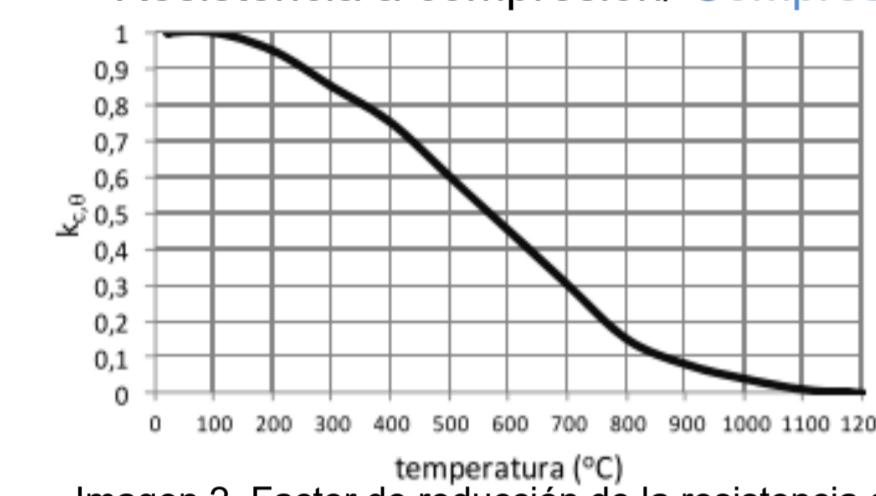
Propose a procedure to estimate the bending moment strength in reinforced concrete beams with glass fiber reinforced polymers bars in fire situation, starting from the existing premises for beams where steel bars are used as reinforcement.

## DISCUSIÓN Y DESARROLLO/ DISCUSSION AND DEVELOPMENT

### Propiedades de los materiales/ Material properties

#### Hormigón/ Concrete (EN 1992-1-2, 2004).

#### Resistencia a compresión/ Compressive strength



#### PRF/ FRP (Saafi, 2002).

#### Resistencia a tracción/ Tensile strength

$$f_{f\theta} = k_f(\theta) \cdot f_f$$

Tabla 1. Factor de reducción de resistencia del PRFV / Table 1. GFRP strength reduction factor

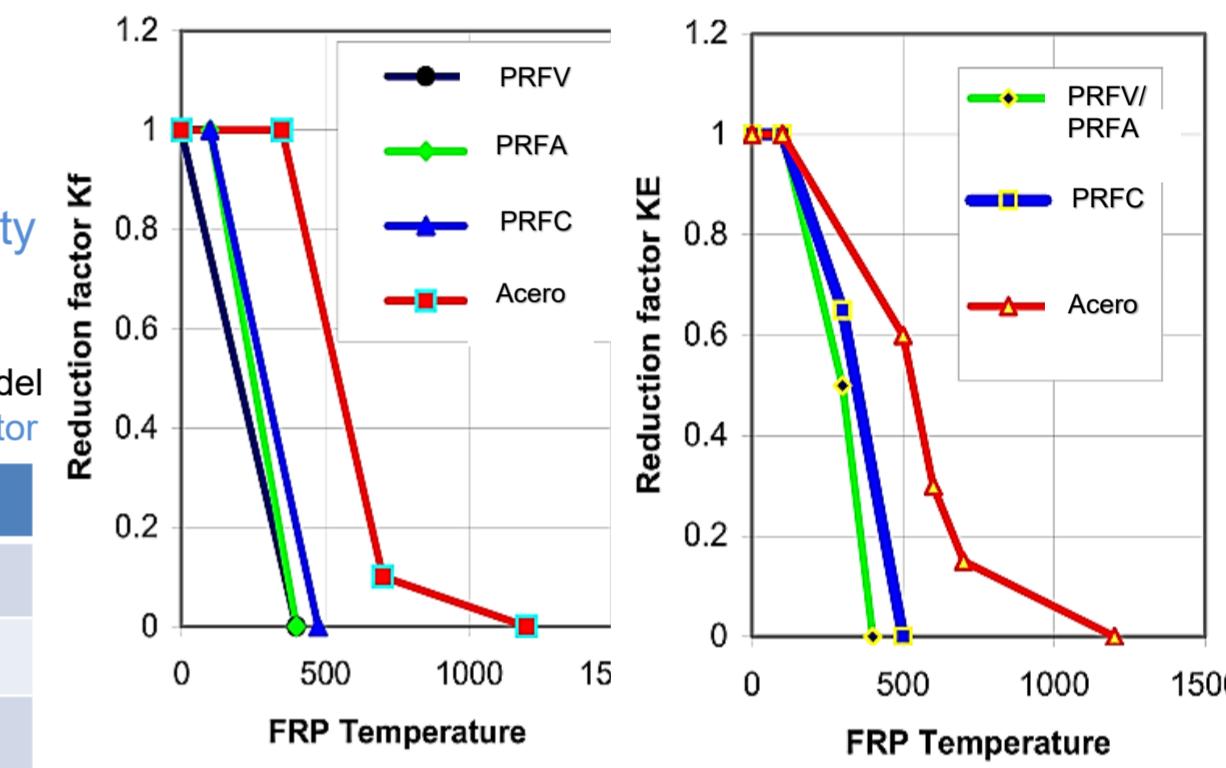
$k_f = (1 - 0,0025T)$	para $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 400^{\circ}\text{C}$
$k_f = 0$	para $400^{\circ}\text{C} \leq T$

#### Módulo de elasticidad/ Modulus of elasticity

$$E_{f\theta} = k_E(\theta) \cdot E_f$$

Tabla 2. Factor de reducción del módulo de elasticidad del PRFV / Table 2. GFRP modulus of elasticity reduction factor

$k_E = 1$	para $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 100^{\circ}\text{C}$
$k_E = (1,25 - 0,0025T)$	para $100^{\circ}\text{C} \leq T \leq 300^{\circ}\text{C}$
$k_E = (2,0 - 0,005T)$	para $300^{\circ}\text{C} \leq T \leq 400^{\circ}\text{C}$
$k_E = 0$	para $400^{\circ}\text{C} \leq T$



### Resistencia a momento flector en vigas de hormigón armado con PRF a elevadas temperaturas / Reinforced concrete beams with PRF at high temperatures. / Bending moment resistance in reinforced concrete beams with PRF at high temperatures.

#### Bases para la formulación propuesta

- Considerar la degradación en la resistencia de ambos materiales debido a las temperaturas elevadas y las dimensiones de la sección transversal sin afectar.
- El momento resistente se determina en función del tipo de fallo, con base a las expresiones establecidas en el diseño a temperatura ambiente en el ACI 440-1R:

#### Fallo por aplastamiento del hormigón / Failure by concrete crushing ( $\rho_f > \rho_{fb}$ )

$$M_{n\theta} = \sum (a_{fi} f_{fi,\theta}) \left( d - \frac{\beta_1 c_\theta}{2} \right)$$

$$f_{f\theta} = \sqrt{\left( \frac{E_{f\theta} \epsilon'_{cu}}{2} \right)^2 + \frac{0,85 \beta_1 f'_{c\theta}}{\rho_f} E_{f\theta} \epsilon'_{cu} - 0,5 E_{f\theta} \epsilon'_{cu}}$$

#### Fallo por ruptura del refuerzo PRF / Failure by FRP rupture ( $\rho_f \leq \rho_{fb}$ )

$$M_{n\theta} = \sum (a_{fi} f_{fui,\theta}) \left( d - \frac{\beta_1 c_{\theta}}{2} \right)$$

- Las propiedades reducidas de las barras de PRF se calculan teniendo en cuenta la degradación del módulo ( $k_E$ ) y la resistencia ( $k_f$ ) de las barras según la posición que estas ocupan en la sección transversal (Saafi, 2002).

- La degradación de la resistencia a compresión, se determina en función de la temperatura promedio que se alcanza en el bloque comprimido (G. B. Albuquerque and V. Silva, 2013).

$E_{f\theta}$ : Módulo de elasticidad a tracción del refuerzo PRF a elevada temperatura/ FRP modulus of elasticity at high temperature

$f'_{c\theta}$ : Resistencia a compresión del hormigón a elevada temperatura/ Concrete compressive strength at high temperature

$f_{f\theta}$ : Resistencia a tracción del refuerzo PRF a elevada temperatura/ FRP tensile strength at high temperature

$f_{fui,\theta}$ : Resistencia de diseño a tracción del refuerzo PRF a elevada temperatura/ FRP ultimate tensile strength at high temperature

$\beta_1$ : Coeficiente asociado a la profundidad del bloque rectangular equivalente/ Depth of the equivalent rectangular stress block factor

$\rho_f$ : Cuantía geométrica del refuerzo PRF en tracción/ FRP tensile reinforcement ratio

• The reduced properties of the PRF bars are calculated taking into account the degradation of the modulus ( $k_E$ ) and the resistance ( $k_f$ ) of the bars according to the position they occupy in the cross section (Saafi, 2002).

• The degradation of the compressive strength is determined as a function of the average temperature that is reached in the compressed block (G. B. Albuquerque and V. Silva, 2013).

## RESULTADOS / RESULTS

### Validación de la metodología propuesta

Se decide aplicar la misma a una viga de hormigón armado con PRFV y sus resultados son comparados con los obtenidos en la investigación realizada por Yu and Kódur (2013) (viga IV del estudio). La viga fue diseñada de manera que asegura un momento nominal a temperatura ambiente de  $264 \text{ kN} \cdot \text{m}$ . (tabla 3). Las temperaturas en la sección se obtienen mediante el análisis térmico realizado con el programa Super Tempcalc. Los resultados de la comparación se muestran en la imagen 4.

### Validation of the proposed methodology

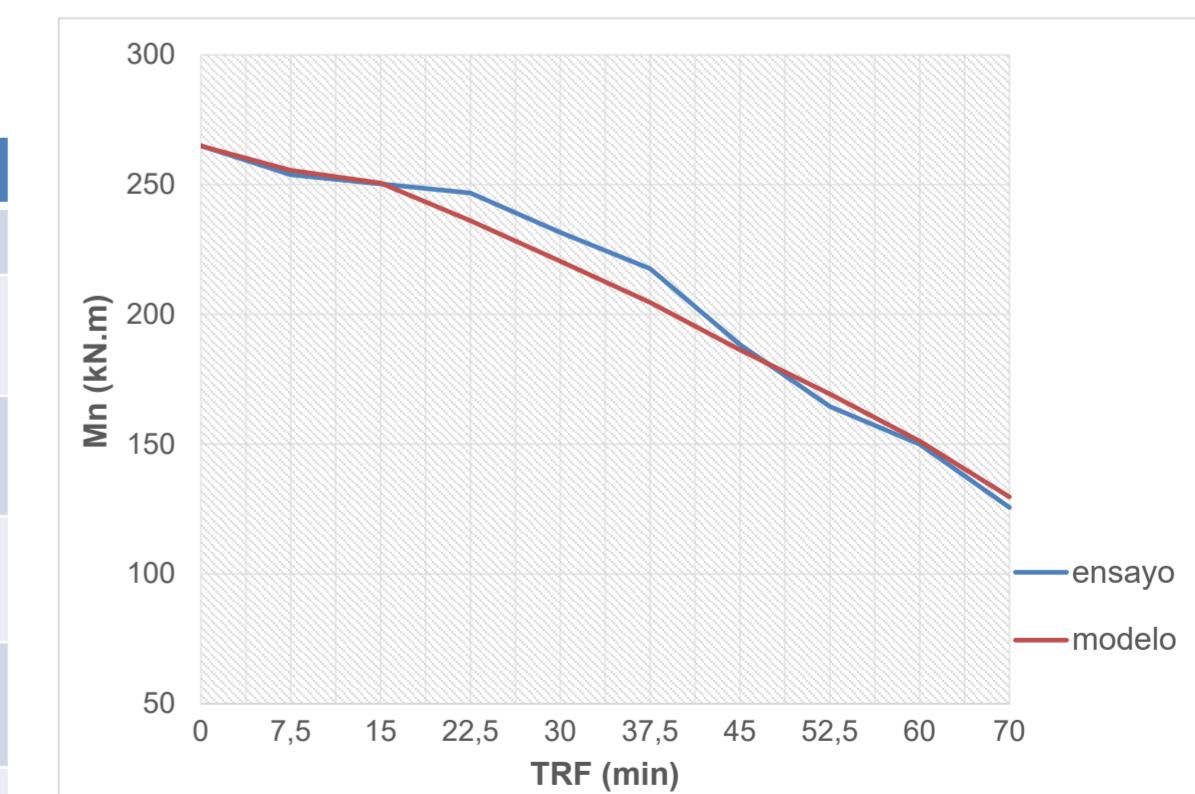
It was decided to apply it to a reinforced concrete beam with GFRP and its results are compared with those obtained in the research carried out by Yu and Kódur (2013) (IV beam of the study). The beam was designed in a way that ensures a nominal moment at room temperature of  $264 \text{ kN} \cdot \text{m}$ . (table 3). The temperatures in the section are obtained by means of the thermal analysis carried out with the Super Tempcalc program. The results of the comparison are shown in image 4.

### Conclusions

- Se observa una adecuada correspondencia entre los valores de momentos obtenidos, existiendo una convergencia hacia el inicio y final de la prueba. En ambos casos se aprecia desde las etapas iniciales de exposición al fuego una rápida degradación de la capacidad de momento la cual está dada por la descomposición de la matriz polimérica.
- El fallo de la viga, según los resultados mostrados en la investigación, tiene lugar a los 70 min, lo cual se corresponde con un momento aproximado de  $125 \text{ kN} \cdot \text{m}$ , mientras que el momento obtenido en el modelo, para el mismo tiempo de exposición, es igual a  $130 \text{ kN} \cdot \text{m}$ , obteniéndose un error relativo del 3%.
- La metodología propuesta en este trabajo, sobre la base de los métodos reconocidos para el cálculo de la resistencia de vigas de hormigón armado con acero y la propuesta por el ACI 440 1R (2015) para el diseño a temperatura ambiente, permite predecir adecuadamente la resistencia a momento flector de vigas de hormigón armado con PRF en situación de incendio.

Tabla 3. Propiedades de la viga estudiada / Table 3. Properties of the studied beam

Dimensiones / Dimensions [mm]	305 x 533
Recubrimiento neto / Cover concrete [mm]	38
Refuerzo PRFV en tracción / CFRP tensile reinforcement [mm]	8 Ø 16
Resistencia a compresión del hormigón / concrete compressive strength ( $f'_c$ ) [MPa]	34,5
Resistencia de diseño a tracción del refuerzo PRFV / GFRP ultimate tensile strength ( $f_{fu}$ ) [MPa]	620
Módulo de elasticidad a tracción del refuerzo PRFV / GFRP modulus of elasticity ( $E_{fu}$ ) [GPa]	44,8
Fuego / Fire	ASTM E 119



### Conclusions

- An adequate correspondence between the obtained moment values is observed, with a convergence towards the beginning and end of the test. In both cases, a rapid degradation of the moment capacity is seen from the initial stages of exposure to fire, which is given by the decomposition of the polymeric matrix.
- The failure of the beam, according to the results shown in the investigation, takes place at 70 min, which corresponds to an approximate moment of  $125 \text{ kN} \cdot \text{m}$ , while the moment obtained in the model, for the same exposure time, is equal to  $130 \text{ kN} \cdot \text{m}$ , obtaining a relative error of 3%.
- The proposed methodology in this work, based on the recognized methods for calculating the resistance of steel-reinforced concrete beams and that proposed by ACI 440 1R (2015) for design at room temperature, allows adequately predicted the bending moment strength of reinforced concrete beams with FRP in fire situation.