



Revista de Arquitectura e Ingeniería
ISSN: 1990-8830
Olga-Toledo@empai.co.cu
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería
de Matanzas
Cuba

Reforzamiento de vigas de hormigón armado empleando barras de polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV).

Martínez González, Jorge Julio; Correa Beltrán, Jessica; Díaz Pérez, Isel del Carmen

Reforzamiento de vigas de hormigón armado empleando barras de polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV).

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 13, núm. 2, 2019

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193960058007>

Todos los derechos reservados.

Todos los derechos reservados.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Reforzamiento de vigas de hormigón armado empleando barras de polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV).

Reinforcement of reinforced concrete beams using fiberglass reinforced polymere bars (GRP).

Jorge Julio Martínez González jmartinezg@civil.cujae.edu.cu
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba
Jessica Correa Beltrán jessy.correa.beltran@gmail.com
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba
Isel del Carmen Díaz Pérez iselcarmen@civil.cujae.edu.cu
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 13, núm. 2, 2019

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Recepción: 30 Octubre 2018
Aprobación: 20 Junio 2019

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193960058007>

Resumen: La utilización de PRF como reforzamiento estructural constituye una alternativa viable para garantizar una mayor resistencia y durabilidad de estructuras expuestas a un medio de alta agresividad. Para ello se propone el reforzamiento de las vigas de hormigón armado existentes en la zona 2 del edificio Regis, ubicado en la intersección de Prado y Colón de La Habana, con el empleo de barras de Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV), lo que conlleva a concebir en los modelos analíticos una cuantía de refuerzo híbrido acero - PRFV. Se ha utilizado el método de los Estados Límites y la investigación se apoya en las bases y requisitos de diseño que establecen los documentos ACI 440 1R-15 y ACI 440 2R-08, proponiendo una metodología para el cálculo del mismo, teniéndose presente la eficacia de este tipo de refuerzo en estructuras expuestas a condiciones climáticas adversas.

Palabras clave: hormigón armado, refuerzo PRFV, refuerzo híbrido, restauración.

Abstract: The use of PRF as a structural reinforcement constitutes a viable alternative to guarantee greater resistance and durability of structures exposed to a highly aggressive environment. To this end, it is proposed to reinforce the existing reinforced concrete beams in zone 2 of the Regis building, located at the intersection of Prado and Colon in Havana, with the use of fiberglass reinforced polymer (PRFV) bars. that entails to conceive in the analytical models a quantity of reinforcement hybrid steel - GRP. The Limits States method has been used and the research is based on the bases and design requirements established in documents ACI 440 1R-15 and ACI 440 2R-08, proposing a methodology for the calculation thereof, taking into account the efficiency of this type of reinforcement in structures exposed to adverse climatic conditions .

Keywords: reinforced concrete, GRP reinforcement, hybrid reinforcement, restoration.

INTRODUCCIÓN

La Habana Vieja es la zona más antigua de la capital cubana y cuenta con una cantidad apreciable de edificaciones con alto valor patrimonial que datan del siglo XIX. La mayoría de estas estructuras fueron construidas con hormigón armado, lo que ha traído consigo con el decurso de los años que las armaduras de acero, por su origen electroquímico, se han visto afectadas por la corrosión, agudizado por las condiciones climatológicas de nuestro país, convirtiéndose esta en una de las causas principales del deterioro del patrimonio estructural que nos rodea. Esto ha traído como

consecuencia una reducción de la vida útil de sus elementos y, por tanto, de sus condiciones de servicio; además de afectar apreciablemente la economía del país al incrementar gastos para su reparación en muy cortos períodos de tiempo.

Las constantes investigaciones llevadas a cabo por la industria de la construcción han permitido la utilización de diferentes tratamientos con vistas a disminuir el efecto de la corrosión en las estructuras, pero dichas medidas solo logran retrasar un poco su aparición.

En la década del 1960 comienzan a utilizarse en países como Estados Unidos, Canadá, Japón y otros tantos, materiales compuestos por fibras no metálicas, como los Polímeros Reforzados con Fibra (PRF), como alternativa para eliminar ese problema del armado en las estructuras de hormigón y con ello incrementar la vida útil de las edificaciones. Dentro de esta gama, los más difundidos son los polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV), con grandes prestaciones en cuanto a resistencia y economía de precios.

Las barras de PRFV presentan entre sus principales propiedades elevada resistencia a la corrosión, alta resistencia a tracción y bajo peso propio, por lo que constituyen el mejor reemplazo para las barras de acero, sobre todo cuando se trata de condiciones ambientales agresivas como las de Cuba. Sin embargo, el carácter frágil que presentan al colapsar y su bajo módulo de elasticidad reducen la ductilidad de los elementos de hormigón armados con estas barras, siendo lo último un reto clave a superar si se reconoce que este comportamiento puede hacer que un fallo de sobrecarga inminente sea más difícil de detectar. Esto ha conllevado a que la mayoría de los códigos y reglamentos que abordan el tema recomienden diseños hiperreforzados (cuantía de refuerzo superior a la cuantía balanceada) para los elementos de hormigón reforzados con PRFV, lo cual implica un cambio de mentalidad en cuanto a la filosofía que hoy existe para el diseño de elementos de hormigón armado con acero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Breve descripción de los PRF. Ventajas y desventajas.

Los compuestos PRF se definen como una matriz polimérica, reforzada con una fibra u otro material de refuerzo con una relación largo/espesor que provea una clara función de refuerzo en una o más direcciones. Estos compuestos son diferentes a otros materiales tradicionalmente empleados en la construcción, como el acero o el aluminio, ya que los primeros son anisotrópicos (sus propiedades varían con la dirección de análisis) y los segundos son isotrópicos (poseen iguales propiedades en todas las direcciones, con independencia de la carga aplicada). Consecuentemente, las propiedades de los compuestos de PRF son direccionales y, por lo general, las propiedades se manifiestan en la dirección de las fibras.[1]

Ventajas de los PRF.[1]

- Alta resistencia a tracción. Ver
- Resistente a la corrosión y sustancias químicas.
- Transparencia magnética.
- Alta resistencia a la fatiga.
- Poco peso con relación al peso del acero (de 7 a 10 veces inferior). Ver
- Baja conductividad térmica y eléctrica.
- Competitividad en precios. Elevada durabilidad.

Tabla 1
Comparación de tensiones. Acero y PRF

DENSIDAD (ton/m ³)			
ACERO	PRFV	PRFC	PRFA
7,9	1,25 ÷ 2,10	1,50 ÷ 1,60	1,25 ÷ 1,40
	3,7 ÷ 6,2 menor	4,9 ÷ 5,3 menor	5,6 ÷ 6,2 menor
(÷) entre [Fuente: ACI 440.1 (2015)]			

Tabla 2
Densidades. Acero y PRF

Tensión (MPa)	ACERO	PRFV	PRFC	PRFA
Tensión de fluencia (<i>f_y</i>)	276÷517	-	-	-
Tensión última o de rotura (<i>f_{su}</i>)	483÷690	483÷1600	600÷3690	1720÷2540
(÷) entre (-) no existe [Fuente: ACI 440.1 (2015)]				
PRFV: Polímeros reforzados con fibras de vidrio				
PRFC: Polímeros reforzados con fibras de carbono				
PRFA: Polímeros reforzados con fibras de aramida				

Desventajas de los PRF.[1]

- No alcanzan a fluir antes de la rotura (colapso frágil). La disposición unidireccional de las fibras da como resultado la máxima resistencia y módulo en la dirección del eje de la fibra. La disposición de las fibras en un plano es bidireccional y tienen diferentes resistencias en cada ángulo de orientación de las mismas (ortotrópico). Las propiedades mecánicas en cualquier dirección son proporcionales a la cantidad de fibras por volumen orientada en esa dirección.
- Bajo módulo de elasticidad (en el caso de que el refuerzo sea mediante fibras de vidrio, llega a ser cuatro veces menor que el del acero).
- Anisotropía: En realidad las fibras se disponen de manera bidireccional, lo que provoca que la respuesta del material en

cada ángulo de orientación de la fibra sea diferente, incluso, las propiedades mecánicas son proporcionales a la cantidad de fibras por volumen que se orienta en cada dirección. De ahí que el material presente:

Mucha menor resistencia a compresión que a tracción.

Módulo de elasticidad a compresión menor que el de tracción (en el orden del 20% acorde a algunas investigaciones según Caneiro-Wainshtok 2015; $E'f \approx 0,80E_f$).

Baja resistencia a cortante.

- No puede doblarse en obra.
- Puede dañarse ante la exposición directa y continuada a la radiación ultravioleta (debe evitarse el prolongado almacenaje del material al aire libre).

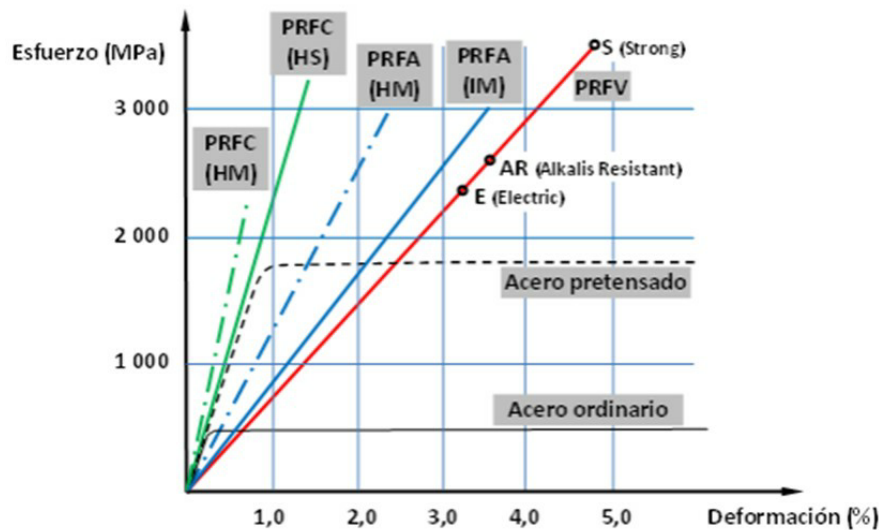


Fig 1

Leyes esfuerzo- deformación de algunos materiales compuestos de PRF.

Técnicas tradicionales de reparación para elementos de hormigón armado:

Existen muchas técnicas tradicionales de reforzamiento de elementos estructurales del hormigón armado dentro de las cuales se pueden destacar: el vaciado y sellado de grietas, la aplicación de esfuerzos externos que inviertan la fuerza que provoca la grieta, los revestimientos y la cicatrización.

Otros métodos para reforzar un conjunto estructural pueden ser: la inserción de un nuevo sistema estructural; las soluciones e intervenciones específicas para patologías concretas y el refuerzo del sistema estructural existente con el incremento de sección transversal.

Actuar sobre patologías concretas permite un saneamiento de las partes dañadas de la estructura. En este caso sí se puede hablar de un aumento de la capacidad portante de la estructura deteriorada, pero en ningún caso superando la resistencia que tenía el elemento en su puesta en servicio.

En cambio, con el incremento de la sección transversal sí se hace posible aumentar la capacidad portante para la cual se había diseñada la estructura inicialmente.

Dentro de las técnicas más utilizadas en la actualidad para reforzar, restaurar e incrementar la resistencia de vigas de hormigón armado, se pueden resumir los siguientes casos:

1. Ampliación de la sección transversal o aumento del número de estribos.
2. Refuerzo con placas de acero pegadas o atornilladas.
3. Refuerzo con tirantes de acero postensados.
4. Reparación de la sección transversal y/o longitudinal con mortero.

A pesar de la funcionalidad de dichas técnicas a lo largo de su período de aplicación, incluso en etapas actuales, se ha demostrado que no son lo suficientemente eficientes. Ante esta situación es realmente ventajoso procurar soluciones que permitan extender la vida útil de las estructuras y que abran al mundo de forma masiva la utilización de la ciencia y la tecnología para el beneficio de las nuevas construcciones.

De esta manera se hace interesante ampliar el estudio del reforzamiento de estructuras con los polímeros reforzados con fibras de vidrio.

Refuerzo mediante recrecido con hormigón armado:

La técnica más común puesta en práctica actualmente para llevar a cabo el reforzamiento de elementos de hormigón armado sometidos a flexión, generalmente consiste en recrecerlo envolviéndolo con una sección adicional del mismo material; de esta manera se logra gran compatibilidad entre ambos, una amplia superficie de contacto que posibilita la necesaria transferencia de esfuerzos, se puede aumentar considerablemente la sección de hormigón e incorporar una cuantía de nuevas armaduras que, en caso necesario, pueden conectarse con las armaduras originales mediante diferentes tipos de anclajes. Esto permite obtener un elemento monolítico, con capacidad de incrementar notablemente la resistencia y la rigidez del elemento original.

En general el refuerzo se efectúa recreciendo inferiormente la viga original por las razones comentadas en el apartado anterior. En función de la armadura adicional que se disponga, ello permite incrementar considerablemente la capacidad frente a flexión positiva. Además, si el recrecido se prolonga hasta los apoyos, se incrementa también la capacidad frente a flexión negativa al aumentar el brazo mecánico de la armadura superior originalmente existente. En algunos casos puede también plantearse recrecer superiormente la viga, especialmente si se ha recrecido también el forjado.[2]

El refuerzo mediante recrecido inferior es más efectivo en vigas de canto, ya que entonces es posible envolver la sección original tanto por la base como por los laterales, creando una camisa de hormigón, en la que se aloja una armadura adicional longitudinal y transversal. De este

modo, es posible no sólo incrementar la capacidad flectora sino también la resistencia a cortante. [2]

En la figura 2.1 se muestran algunas soluciones de refuerzo mediante recrecido con hormigón armado. En el caso (a) se observa un refuerzo exclusivamente a flexión realizado recreciendo inferiormente la viga original. Esta solución requiere la conexión directa de las armaduras longitudinales original y de refuerzo, para lo cual deben disponerse horquillas convenientemente soldadas a unas y otras. En el caso (b) se muestra una solución apta para vigas orinales de “cuelgue” en la que esencialmente se consigue también un refuerzo a flexión, si bien se evita la necesidad de conectar directamente armaduras. Finalmente (c) representa un sistema de refuerzo tanto a flexión como a cortante mediante el cual pueden alcanzarse considerables incrementos de resistencia.

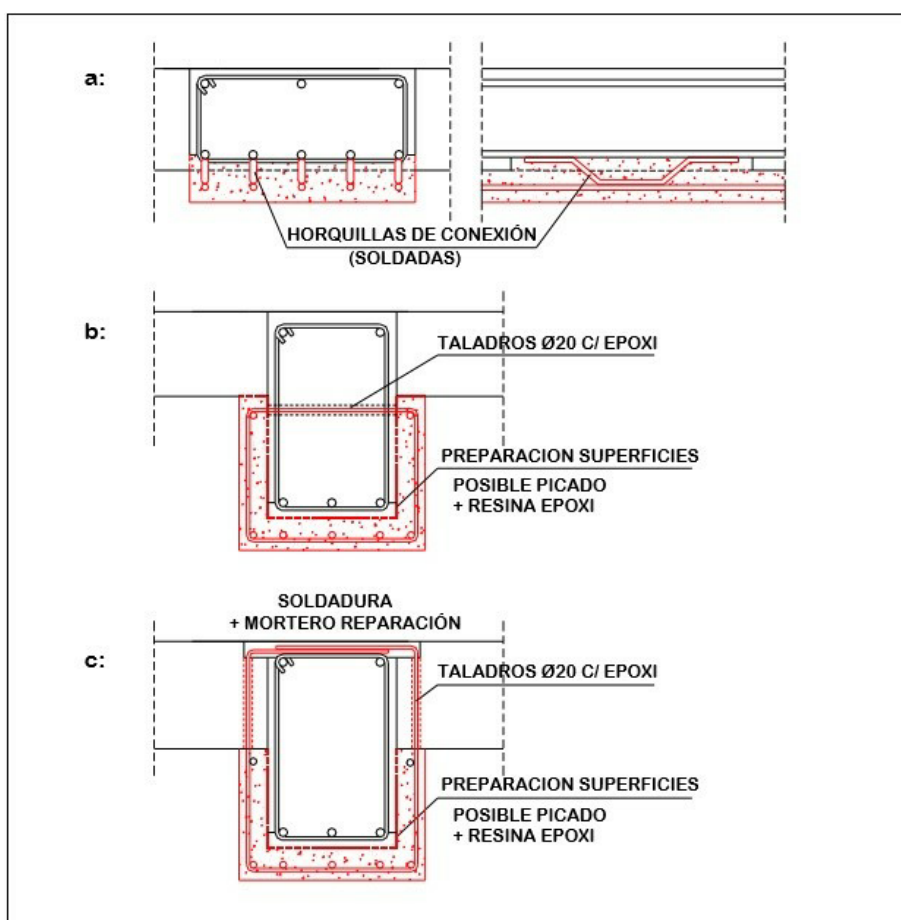


Fig 2
Refuerzo de vigas mediante recrecido con hormigón armado.

A nivel de diseño, este sistema tiene el inconveniente de exigir un incremento considerable de las dimensiones de la viga original. A nivel constructivo, el hormigonado de la “camisa” presenta cierta complejidad. Una alternativa consiste en taladrar el forjado e inyectar el hormigón. También es posible proyectar hormigón. La dosificación debe ser muy cuidada, garantizando una buena adherencia con el material original y evitando la formación de coqueas. El recrecido además puede realizarse

con morteros específicos para el refuerzo y reparación, cada día más generalizados.

La transferencia de esfuerzos entre la viga original y el refuerzo se confía a veces a la junta hormigón-hormigón con algún tipo de tratamiento, dado que la superficie de contacto entre ambos es de cierta importancia. Sin embargo, este proceder puede resultar peligroso cuando la viga no queda suficientemente empotrada en sus extremos, o la cuantía del refuerzo es considerable. En tales circunstancias se pueden disponer adhesivos epoxi, e incluso a picar parcialmente el recubrimiento de la viga original, para conectar sus armaduras con las del refuerzo. Este último procedimiento, debidamente planteado y ejecutado reduce

al mínimo los problemas de transferencia y permite alcanzar importantes niveles de refuerzo, incluso en vigas planas.

Después debe procederse al análisis de las secciones determinantes. Para ello debe utilizarse un modelo “evolutivo” capaz de contemplar que el refuerzo se introduce sobre una sección original previamente solicitada y con una historia de carga previa. Los problemas de transferencia de esfuerzos entre viga original y refuerzo o el despegue de la junta no suelen ser importantes dada la gran superficie de contacto existente y la posibilidad, en su caso, de efectuar cajeados y/o conectar armaduras.

Los sistemas de PRF que se utilizan como reforzamiento de elementos estructurales de hormigón armado deben ser diseñados para soportar las tensiones de tracción que aparecen siempre y cuando se mantenga una compatibilidad de deformaciones a nivel de sección entre el hormigón, el acero existente y las barras de refuerzo de PRF respectivamente.

Metodología para el cálculo del reforzamiento con barras de PRFV en vigas de hormigón armado existentes.

El diseño del reforzamiento a flexión de elementos con PRF debe satisfacer la base de diseño de los estados límites de resistencia, es decir, asegurar que la sollicitación actuante, determinada a partir de la combinación más desfavorable de las acciones exteriores luego de factorizar sus valores característicos mediante los respectivos coeficientes de carga, no exceda a la sollicitación resistente de la sección calculada a partir de la resistencia reglamentaria de los materiales, afectando su magnitud por el factor de reducción de resistencia (ϕ):

$$Mu \leq \phi(Mn) \quad (1)$$

El reforzamiento a flexión con PRF de vigas de hormigón armado con acero, conlleva a un refuerzo híbrido por lo que para el diseño del mismo se tomarán como base las metodologías propuestas por los códigos ACI 440 1R-15 y ACI 440 2R-08 para el diseño y reforzamiento con PRF de elementos a flexión respectivamente y el ACI 318-14, para el diseño de elementos de hormigón armado con acero.

Metodología propuesta:

Paso 1: Calcular las propiedades del PRFV

$$F_{fu} = C_e f_{fu}$$

(2)

coeficiente de exposición (tabla 3)

$$\varepsilon_{fu} = \frac{f_{fu}}{E_f}$$

(3)

Paso 2: Definir área de refuerzo de PRFV

El área de refuerzo se fija teniendo como base lo planteado por el ACI 440 1R-15. Según los reglamentos que abordan el tema los procesos de diseño se convierten en la práctica en procesos de revisión, pues la tendencia es fijar la cuantía de refuerzo PRF en tracción, que debe ser predefinida por el diseñador.

Paso 3: Cálculo del peralte efectivo.

Teniendo en cuenta que ambos refuerzos en tracción, acero y PRFV, se encuentran dispuestos en diferentes camadas, se recomienda determinar el recubrimiento mecánico (medido desde el paramento de la sección al centroide del refuerzo) para cada uno de ellos.

Paso 4: Fijar profundidad de la línea neutra.

En función de los estudios realizados para el diseño de secciones de hormigón reforzadas tanto con polímeros como con acero, se puede llegar a la conclusión de que existe una compatibilidad entre sus formas de diseño, que nos permite incluir a ambos como refuerzo de una misma sección, pudiendo identificarse una región común. Importar imagen para el diseño considerando la presencia de estos en la sección. [4]. De esta manera, relacionando las deformaciones se puede confeccionar un diagrama de dominio que facilite el cálculo del refuerzo combinado como se muestra a continuación:

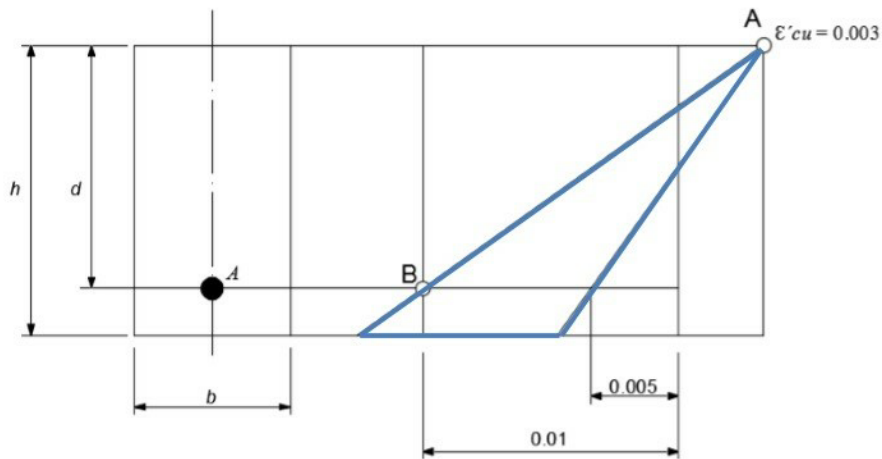


Fig 3
Diagrama de dominios para el estudio de las solicitaciones normales.

Procurando un diseño en la región definida como ideal, se fija la profundidad de la línea neutra:

Paso 5: Calcular deformaciones.

Las deformaciones se calcularán empleando para ello las ecuaciones de compatibilidad.

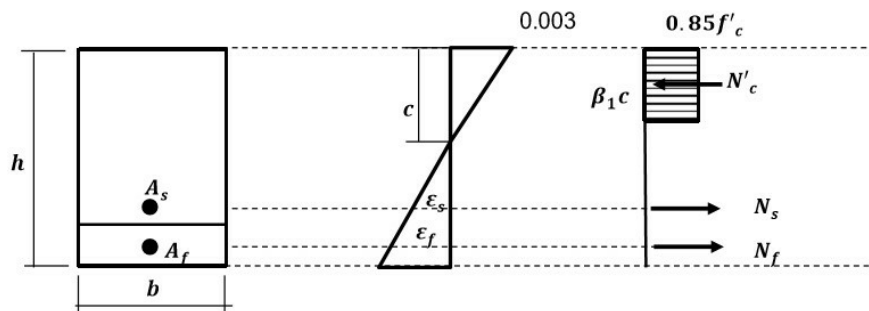


Fig 4
Diagramas de deformación y tensión de la sesión recrecida.

Para el acero :

$$\epsilon_s = 0.003 \times \frac{d-c}{c} \quad (4)$$

Para el PRF :

$$\epsilon_s = 0.003 \times \frac{d_{ff}-c}{c} \quad (5)$$

Paso 6: Calcular tensiones de trabajo.

Para el acero :(f_s)

$$f_s = \begin{cases} \varepsilon_s E_s \Rightarrow \varepsilon_s < \varepsilon_y \\ f_y \Rightarrow \varepsilon_s \geq \varepsilon_y \end{cases} \quad (6)$$

Paso 7: Calcular fuerzas.

$$N_s = A_s f_s$$

$$N_f = A_f f_f$$

Paso 8: Calcular profundidad de la línea neutra (c) en la ecuación de equilibrio de fuerzas.

Del diagrama de tensiones que se muestra en la figura 2.6 se obtiene la ecuación de equilibrio de fuerzas:

$$\begin{aligned} N_c' &= N_s + N_f \\ 0.85 f_c' \beta_1 c b &= A_s f_s + A_f f_f \\ c &= \frac{A_s f_s + A_f f_f}{0.85 f_c' \beta_1 b} \end{aligned} \quad (7)$$

Paso 9. Comparar el valor de c obtenido con c_i y el calculo (diferencia menor del 5%)

El proceso se repite hasta que exista una convergencia entre el valor de c_i y el calculado (diferencia menor del 5%):

$$\% \text{ error} = \frac{c - c_i}{c_i} < 5 \% \quad (8)$$

Paso 10: Calcular momento resistente (M_r) respecto al centroide del hormigón:

Para calcular el momento resistente (M_r) de la sección hay que determinar los coeficientes que introducen la seguridad para este tipo de estado límite los cuales son el coeficiente reductor de la capacidad nominal de la sección (ϕ) y el coeficiente reductor de la capacidad nominal del sistema de refuerzo (PRFV) (λ).

$$\% \text{ error} = \frac{c - c_i}{c_i} < 5 \% \quad (9)$$

El valor de ϕ se determina según la ecuación 2.16, en función de la cuantía de refuerzo y/o deformación del refuerzo.

El coeficiente toma un valor de 0,85, que es lo recomendado por el documento ACI 440 2R 08.

Paso 11: Verificar el estado límite de resistencia a flexión.

$$M_u \leq \phi M_n \quad (10)$$

En caso de no cumplirse deberá incrementarse el área de refuerzo inicial
Importar imagen

Paso 12: Distribuir el refuerzo calculado en la sección.

Se aceptarán para las barras de PRF los mismos criterios de separación horizontal y vertical que definen las Normas para el caso de barras de acero:

$$S_h \text{ (libre)} \geq \begin{cases} d_{b,l} \\ 1.25 T_{m\acute{a}x} \\ 20 \text{ mm} \end{cases} \quad (11)$$

De estos valores propuestos se toma el menor. En caso de no cumplirse se deberá formular otra distribución de barras que satisfaga los criterios fijados por la norma, prestando especial atención al sensible cambio en el peralte efectivo que puede sufrir la sección al disponer un número de capas diferente al considerado al inicio de los cálculos.

Paso 13: Comprobar el Estado Límite de Fisuración.

Para la verificación de este estado no se ha identificado por este autor una expresión de la combinación de ambos refuerzos en la sección, aunque sí debe destacarse que la filosofía empleada para la determinación de la abertura de fisura para ambos refuerzos es la misma, aceptándose la expresión de Frosh. [5] En este trabajo de manera aproximada se tomará la expresión dada para los elementos a flexión armados con PRFV, por ser este el refuerzo más cercano a la cara más traccionada de la sección del elemento.

Paso 13.1: Determinar la profundidad relativa de la línea neutra en régimen de servicio:

La profundidad de la línea neutra podrá ser determinada igualando a cero la expresión de momento estático respecto a ella misma.

Si se ignora la presencia del refuerzo en compresión ($A_f = 0$), trabajando en la ecuación, entonces:

$$k_s = \sqrt{(n_f \rho_f)^2 + 2n_f \rho_f} - n_f \rho_f \quad (11)$$

Donde

$$n_f = \frac{E_f}{E_c} \quad (12)$$

Paso 13.2: Determinar la tensión del refuerzo en tracción en régimen de servicio:

$$f_{fk} = \frac{M_k}{A_f d \left(1 - \frac{k_s}{3}\right)} \quad (13)$$

Paso 13.3: Determinar el factor β :

$$\beta = \frac{h - k_s d}{d(1 - k_s)} \quad (14)$$

Paso 13.4: Fijar el valor de las variables s_1 y d_2

Los valores se definen tomando como referencia la ubicación de las barras propuesta en la sección

Paso 13.5: Fijar el valor del factor

El ACI 440 1R-06 recomienda emplear

Paso 13.6: Determinar el ancho característico de la fisura:

$$w = 2 \frac{f_{fk}}{E_f} \beta k_b \sqrt{d_c^2 + \left(\frac{s_1}{2}\right)^2} \quad (15)$$

Paso 13.7: Comprobar la base de cálculo del Estado Límite de Fisuración:

$$w < w_{lim} \quad (16)$$

3. RESULTADOS

Reforzamiento a flexión de vigas de hormigón armado existentes con barras de PRFV. Caso de estudio.

Para aplicar la metodología propuesta de reforzamiento se decide tomar como caso de estudio el Hotel "Regis" ubicado en La Habana Vieja, en particular las vigas localizada en la zona 2 del mismo (ve figura 5). Estas vigas poseen un alto grado de deterioro debido a la corrosión propiciada por la cercanía del hotel al mar. La capacidad portante de estos elementos se ve reducida por el elevado deterioro de los materiales constituyentes, en especial el acero con un grado de corrosión extremadamente avanzado. La viga 2.5 (ver figura 6) es una de las más afectadas con un Momento flector resistente (Mn) de 46.2 kNm y un Momento actuante (Mact) de 59.18 kNm.

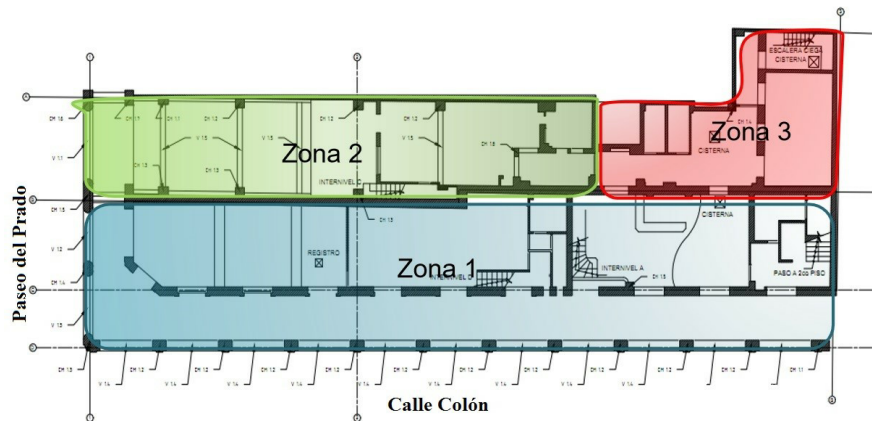


Fig 5
Zonificación del hotel Regis según tipología constructiva.

Zona 1: Sistema de sustentación mediante muros de carga y columnas de sillería con sistema de entrepiso de viga y losa

Zona 2: Sistema porticado con columnas, vigas y losas de hormigón armado

Zona 3: Sistema de sustentación combinada de muros de carga de mampostería y columnas de hormigón armado con sistema de entrepiso de viga y losa

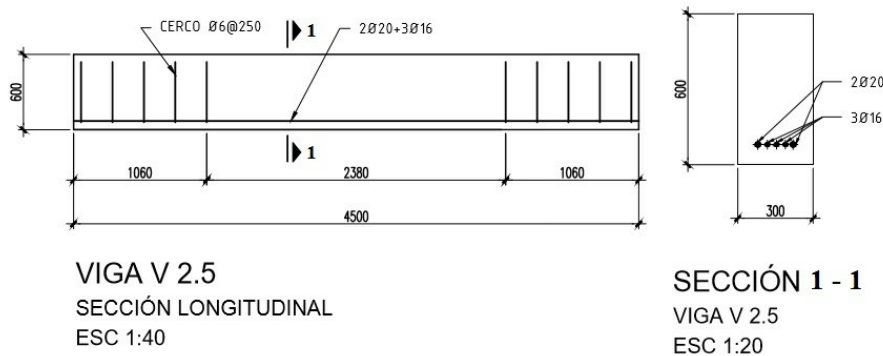


Fig 6
Sección transversal y longitud de la viga de estudio.

Teniendo en cuenta que la sollicitación actuante es mayor que la resistente, se decide acometer el reforzamiento del elemento para que resista la totalidad de la carga, empleando para ello barras de PRFV, asumiendo también el aporte del acero existente en el mismo al mecanismo resistente.

Propuesta de reforzamiento para las vigas:

Consideraciones y datos de partida para el diseño del reforzamiento:

- Se desprecia el aporte de refuerzo a compresión debido a la falta de datos en cuanto al diámetro y número de barras existentes. Esta consideración brinda un diseño del lado de la seguridad.

- Se considerará un recrecimiento de 7 cm a cada lado de las caras de la viga y 7 cm hacia abajo. [2]
- Se decide comenzar el diseño del reforzamiento con una cuantía de PRF de 0,0018 y un diámetro de barra de 16 mm
- Se concluye en una disposición de 3/16 espaciadas a 176 mm. (ver figura 7)

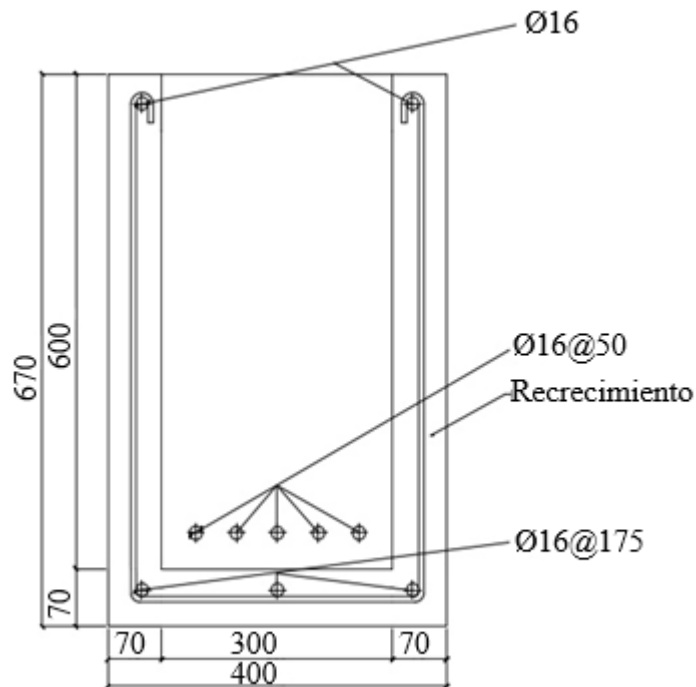


Fig 7

Sección transversal de la viga recrecida con hormigón armado.

4. DISCUSIÓN:

Para la metodología propuesta se decidió comenzar el proceso iterativo con una profundidad de línea neutra de $0,250d=14,7$ cm, para lo cual da una diferencia del 10 %. Se iteró una vez más disminuyendo la profundidad de línea neutra hasta $0,235d=13,82$ cm, lográndose una convergencia de 4,5% (menor al 5%) entre este valor estimado y el real obtenido de 13,2 cm.

Para una profundidad de línea neutra de 13,82 cm se obtuvo un momento resistente de 294,8 kNm mayor que el momento actuante de 59,18 kNm. Para optimizar el diseño pudiera tomarse un diámetro menor de barra PRFV, disminuyendo así la diferencia entre la sollicitación actuante y la resistente.

Para la disposición y diámetro de barras utilizados, la sección cumple con el estado límite de fisuración arrojando como resultado un ancho de fisura de 0,37 mm, menor el ancho de fisura límite de 0,60 mm adoptado por el ACI 440.1R 15.

Al tratarse del reforzamiento de una sección central de una viga simplemente apoyada, no se realiza el chequeo del estado límite de cortante.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los Polímeros Reforzados con Fibras de Vidrio (PRFV) son materiales que destacan por sus excelentes propiedades: elevada resistencia a la tracción, ligereza, corrosión nula y compatibilidad con el hormigón. Pese a las desventajas también identificadas: fragilidad, bajo módulo de elasticidad, etc., son una excelente opción para el reforzamiento de estructuras de hormigón armado deterioradas fundamentalmente a causa de la corrosión del acero.

- El empleo de PRFV como refuerzo estructural presupone una disminución de los costos por traslado del material, reducción de los tiempos de ejecución y mano de obra, mayor durabilidad de la estructura y disminución de los trabajos de mantenimiento; por tal razón se recomienda realizar un análisis económico donde se incluyan estos aspectos.

- La metodología llevada a cabo para el reforzamiento de vigas de hormigón armado mediante el recrecimiento de las mismas, empleando barras de PRFV, es certera, respetándose uno de los principios básicos para el diseño con polímeros: lograr que el fallo sobrevenga primero por el hormigón que por el refuerzo buscando mayor ductilidad en el mismo ($\epsilon_{fu} \leq 0.005$).

- El reforzamiento de vigas de hormigón armado existentes sometidas a flexión simple, con refuerzo longitudinal adicional de PRFV permitió garantizar un incremento de la resistencia, servicio y la durabilidad del elemento en cuestión.

- Se recomienda plantear un análisis económico en donde se incluyan costos de materiales, mano de obra, equipos, ejecución y mantenimiento, que permita establecer criterios de comparación con otras técnicas de reforzamiento.

Referencias

Hernández Caneiro, JA; Wainshok Rivas, HR. Empleo de barras y telas de malla de PRF como refuerzo del hormigón y el ferrocemento. Diseño estructural"; Monografía, ISBN 978-959; Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba;2015.

Bueno, A.D.R. Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación". Universidad Politécnica de Madrid, España.

Amador Núñez, M.A. Diseño a flexión de vigas de hormigón armadas con refuerzo combinado de acero y PRFV (refuerzo híbrido). Tesis de grado. Departamento de estructuras. Facultad de ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría: La Habana, Cuba, 2017.

- ACI 440 1R 15. 2015. 440, A.C., Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars, A.C. Structure, Editor. 2015, ACI: USA.
- ACI 318S-14. American Concrete Institute: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14), ISBN: 978-0-87031-964-8, Farmington Hills, MI 48331, U.S.A.
- ACI 440 2R 08. American Concrete Institute. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. USA, 2008.