

REFUERZO DE COLUMNAS DE H° A° CON ARMADURA DE ESTRIBOS DEFICIENTE UTILIZANDO PRFC

Recibido: 26 de Mayo, 2021 • Aceptado: 5 de Julio, 2021

Autores:

Viviana C. Rougier ¹

 <http://orcid.org/0000-0003-2252-4350>

Federico A. González * ¹

 <http://orcid.org/0000-0002-0665-9258>

Miqueas C. Denardi ²

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, 3260, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia, 3200, Concordia, Entre Ríos, Argentina.

Contacto:

*Autor a quien la correspondencia debe ser dirigida: gonzalezf@frcu.utn.edu.ar

Roles autorales:

Conceptualización: Viviana C. Rougier

Curaduría de datos: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Adquisición de fondos: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Investigación: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Metodología: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Recursos: Viviana C. Rougier

Supervisión: Viviana C. Rougier

Validación: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Escritura - revisión y edición: Viviana C. Rougier; Federico A. González; Miqueas C. Denardi.

Cómo citar este artículo:

Rougier, V.C., González, F.A., Dinardi, M.A. Refuerzo de columnas de H° A° con armadura de estribos deficiente utilizando PRFC. *Revista Rumbos Tecnológicos*, Volumen 13, 2021, pp. 23-36
Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, Facultad Regional Avellaneda, Universidad Tecnológica Nacional. <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/tipo-de-articulo/articulos/refuerzo-de-columnas-de-ho-ao-con-armadura-de-estribos-deficiente-utilizando-prfc>



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

RESUMEN

Existen situaciones en las que es necesario incrementar la capacidad portante de elementos sometidos a solicitaciones de compresión, como columnas y pilas de puentes. Dichas situaciones pueden comprender cambios de uso y aumentos de carga, errores constructivos o de proyecto y casos en que las estructuras han resultado dañadas. El refuerzo externo de columnas de hormigón armado con polímeros reforzados con fibras (PRF) es una solución que ha dado muy buenos resultados, lográndose mejoras en la ductilidad y resistencia última de columnas con diferentes tipos de daño. En este trabajo se evalúa experimentalmente la eficiencia del refuerzo externo con bandas de polímeros reforzados con fibras de carbono (PRFC) en la mejora de resistencia y ductilidad de columnas de hormigón armado, de sección cuadrada, con armadura de estribos deficiente. Se analiza la respuesta tensión-deformación axial y modos de falla de columnas con dos separaciones de estribos. Los niveles de resistencia y ductilidad alcanzados por los elementos reforzados sugieren que el refuerzo externo de PRF, mejora el comportamiento cuando existen deficiencias en el refuerzo convencional de estribos. La comparación entre valores experimentales de resistencia máxima a compresión y estimaciones realizadas a partir de modelos empíricos de otros autores, muestra resultados satisfactorios.

Palabras Claves: Bandas, Columnas, Hormigón Armado, Confinamiento, PRFC

ABSTRACT

There are situations in which it is necessary to increase the bearing capacity of elements subjected to compression stresses, such as columns and bridge piers. Such situations can include changes in use and load increases, construction or design errors, and cases where structures have been damaged. The external reinforcement of reinforced concrete columns with fiber-reinforced polymers (FRP) is a solution that has given very good results, achieving improvements in the ductility and ultimate resistance of columns with different types of damage. In this paper, the efficiency of external reinforcement with carbon fiber reinforced polymer bands (CFRP) in improving the strength and ductility of square-section reinforced concrete columns with deficient stirrup reinforcement is experimentally evaluated. The axial stress-strain response and failure modes of columns with two stirrup spacings are analyzed. The levels of resistance and ductility achieved by the reinforced elements suggest that the external FRP reinforcement improves performance when there are deficiencies in the conventional stirrup reinforcement. The comparison between experimental values of maximum compressive strength and estimates made from empirical models of other authors shows satisfactory results.

Key-words: Columns, Reinforced concrete, Confinement, CFRP

INTRODUCCIÓN

Los elementos sometidos a solicitaciones preponderantes de compresión, como columnas de hormigón armado y pilas de puentes, resultan de fundamental importancia para la seguridad de las estructuras. Muchas veces, con el objetivo de lograr incrementos en la capacidad de carga de columnas, motivados ya sea por cambios en el destino de la estructura, errores de proyecto, armadura transversal mínima o debido al daño producido en las mismas por cargas excepcionales, se requiere mejorar la resistencia a flexión, la resistencia a corte, la capacidad de resistir cargas axiales o varias de ellas simultáneamente.

Entre los diversos métodos empleados para el refuerzo de elementos comprimidos, el confinamiento lateral con encamisados de polímeros reforzados con fibras (PRF) ha demostrado ser muy eficiente por cuanto incrementa la resistencia y ductilidad de las columnas. Los PRF poseen ciertas características especiales y sus cualidades resultan totalmente diferentes a aquellas de los materiales normalmente utilizados con fines estructurales. Presentan una elevada relación resistencia-peso y rigidez-peso, son resistentes a la corrosión y, además, su bajo peso y flexibilidad facilitan el transporte y la colocación. A todo ello se debe agregar que, como consecuencia de su anisotropía, la respuesta estructural puede ser fácilmente optimizada. Dicho refuerzo generalmente se hace envolviendo el elemento estructural con capas de compuesto y adhiriéndolas mediante un sistema epoxy. Se puede reforzar la columna en toda su longitud con una o varias capas de PRF, o bien reforzarla parcialmente mediante bandas dispuestas en espiral o en forma anular como se muestra en la Figura 1 (Teng et al., 2002).

La primera aplicación de esta tecnología se realizó en Japón en chimeneas de hormigón (1987) y luego la técnica se extendió al refuerzo de columnas de hormigón (Mirmiran et al., 2000). Desde entonces, el método ha sido estudiado experimentalmente utilizando una gran variedad de fibras (carbono, vidrio, aramida) y diversidad de técnicas de fabricación (placas prefabricadas, placas pretensadas, tejidos uni y bidireccionales, barras, etc.) (Rousakis et al., 2007; Al-Salloum, 2007; Wei et al., 2009; Rousakis y Karabinis, 2012; Mostofinejad y Ilia, 2014; Guo et al., 2016; Zeng et al., 2018; Zeng et al., 2018; Miralami et al., 2019; Sadeghian y Fillmore, 2020; Fanaradelli y Rousakis, 2020). Por otra parte, se ha demostrado que la efectividad del refuerzo con PRF depende de la forma de la columna y la rigidez del PRF. Las secciones rectangulares y cuadradas experimentan un incremento menor en resistencia y ductilidad que las secciones circulares. Esto se debe a que en secciones circulares la distribución de la presión lateral de confinamiento es uniforme, contrariamente a lo que ocurre en secciones cuadradas y rectangulares, donde dicha presión varía de un máximo en las esquinas a un mínimo entre ellas (Figura 2) (Maalej et al., 2003).

El objetivo de este trabajo es estudiar la eficiencia de refuerzo parcial de columnas de sección cuadrada con armadura de estribos deficiente, utilizando bandas de polímeros reforzados con fibras de carbono (PRFC), de alto módulo y alta resistencia.

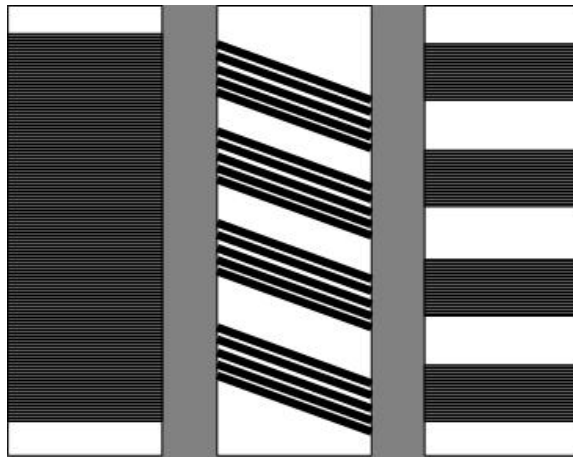


Figura 1. Refuerzo de columnas con PRF. Diferentes esquemas de refuerzo con PRF (Teng et al., 2002)

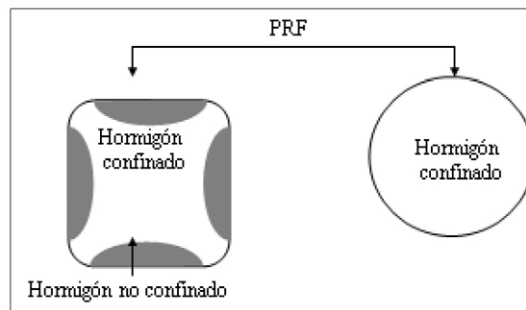


Figura 2. Efectividad del confinamiento con PRF: columnas de sección cuadrada y columnas de sección circular (Al-Salloum, 2007)

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Generalidades

El programa experimental se llevó a cabo mediante ensayos a compresión uniaxial de columnas prismáticas a escala reducida, armadura longitudinal con barras de acero $<\varnothing 12$ (CIRSOC 201-05, 2005), armadura de estribos deficiente y reforzadas con bandas de PRFC. El objetivo del plan experimental fue evaluar la eficiencia del sistema de refuerzo y/o reparación con PRFC. Con tal fin, se construyeron 10 columnas de hormigón armado de sección cuadrada. Dos especímenes se diseñaron siguiendo los lineamientos del CIRSOC 201-05 (2005) en cuanto a separación máxima de estribos verticales (C110 y C210), mientras que los otros ocho fueron construidos con dos separaciones diferentes de estribos, mayores que la separación máxima establecida por dicho reglamento. De los ocho especímenes con deficiencia de armadura transversal, cuatro fueron reforzados con bandas de PRFC, dispuestas en forma anular, mediante el proceso denominado húmedo, que

se explicará más adelante, y los cuatro especímenes restantes se tomaron de referencia o control.

En la Tabla 1 se muestra la denominación de los especímenes y las características geométricas y de refuerzo. Las columnas se designan con la letra C seguida de tres números. El primero indica el número de espécimen de cada tipo y los dos siguientes la separación de estribos.

Tabla 1. Detalle de los especímenes ensayados con su denominación y características

Denominación	Características	Armadura Longitudinal	Armadura de estribos	Separación de estribos (mm)	Refuerzo
C110	Referencia	4 Ø 10	Ø 4,2	100	-
C210	Referencia			100	-
C120	Referencia			200	-
C220	Referencia			200	-
C1R20	Reforzada			200	Tejido de fibra de carbono y resina epoxi
C2R20	Reforzada			200	Tejido de fibra de carbono y resina epoxi
C130	Referencia			300	-
C230	Referencia			300	-
C1R30	Reforzada			300	Tejido de fibra de carbono y resina epoxi
C2R30	Reforzada			300	Tejido de fibra de carbono y resina epoxi

Especímenes

Las columnas se diseñaron con la misma sección transversal: 150 mm x 150 mm, y 900 mm de longitud total y la misma sección de armadura longitudinal: cuatro barras de 10 mm de diámetro. Para la armadura transversal, se adoptaron barras de 4,2 mm de diámetro y tres separaciones verticales de estribos, 100 mm, 200 mm y 300 mm. La separación máxima establecida por el reglamento CIRSOC 201-05 (2005) resultó, para este caso, de 120 mm. En la Figura 3 se muestran las dimensiones y detalle de armado de los diferentes especímenes.

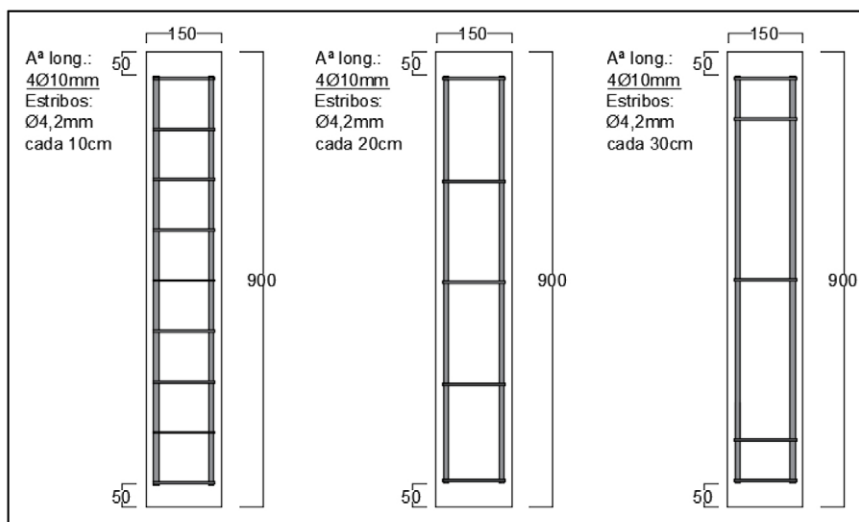


Figura 3. Detalle de armaduras longitudinal y transversal de columnas.

Materiales

El hormigón utilizado en la ejecución de las columnas se dosificó en planta hormigonera según el Método ICPA de Diseño Racional de Mezclas de Hormigón del Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA), en función de obtener una resistencia característica de rotura a compresión a los 28 días de 20 MPa. Se utilizaron agregados de la zona y cemento Portland Normal. Los especímenes fueron hormigonados y curados en planta.

Las características mecánicas del hormigón, resistencia media a la compresión y módulo de elasticidad, se determinaron mediante ensayos de compresión uniaxial sobre probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm, según normas IRAM 1534 (1985) e IRAM 1865 (2009), respectivamente. Se obtuvieron una resistencia media a compresión y módulo de elasticidad de 21,3 MPa y 25,91 GPa.

Para la armadura longitudinal y transversal de las columnas se emplearon barras de acero conformadas de dureza natural.

El refuerzo de las columnas se realizó con tejido unidireccional de fibra de carbono de 1 mm de espesor, de alto módulo y alta resistencia, saturado con resina epoxi y preparado in situ mediante el proceso denominado húmedo. En la Tabla 2 se muestran las características mecánicas de la lámina curada y de la fibra de carbono, proporcionadas por el fabricante.

Tabla 2. Propiedades del PRFC (lamina curada) y de las fibras de carbono

Propiedades	Lamina curada	Fibra
Módulo de Elasticidad E (MPa)	73100	-
Resistencia a tracción, σ_t (MPa)	960	3450
Alargamiento a la rotura (%)	1,33	1,5
Espesor (mm)	1	-
Peso por m ² (g)	610	-

Preparación de especímenes y técnica de refuerzo

La técnica de refuerzo se realizó envolviendo la superficie de las columnas en las zonas con deficiencia de armadura de estribos, previamente imprimadas con resina epoxi, con bandas de 50 mm de tejido unidireccional de fibra de carbono embebido en resina epoxi. En todos los casos se aseguró un solape de 20 cm para evitar el despegue prematuro del laminado. Antes de la colocación del material de refuerzo, las superficies de los especímenes fueron cuidadosamente pulidas con cepillo de cerdas de acero a los efectos de eliminar polvo y cualquier imperfección superficial. Finalmente, y para dejarlas perfectamente limpias, se aplicó aire con un compresor. Se colocaron tres capas de refuerzo de 1 mm de espesor con las fibras orientadas en la dirección circunferencial. En la Figura 4 se muestra un dibujo detallado de la ubicación y dimensiones de las bandas de PRFC para dos columnas con separación de estribos verticales de 200 mm y 300 mm. De este modo se cumplió con las disposiciones del Reglamento CIRSOC 201-05 (2005) que exige para este caso, una separación de 120 mm (menor valor entre 12 veces el diámetro de barra longitudinal, 10 mm, 48 veces el diámetro de la barra de estribos, 4,2 mm, o 150 mm, lado menor de la columna). El diseño del número de capas de PRFC y su ancho, se determinaron en función de obtener una resistencia a compresión uniaxial como mínimo igual a la obtenida teóricamente para la columna con separación de estribos de 100 mm, siguiendo los lineamientos de cálculo del CRSOC 201-05 y la fórmula de Saadatmanesh et al. (1994). Esta última se usó para las columnas reforzadas con PRFC.

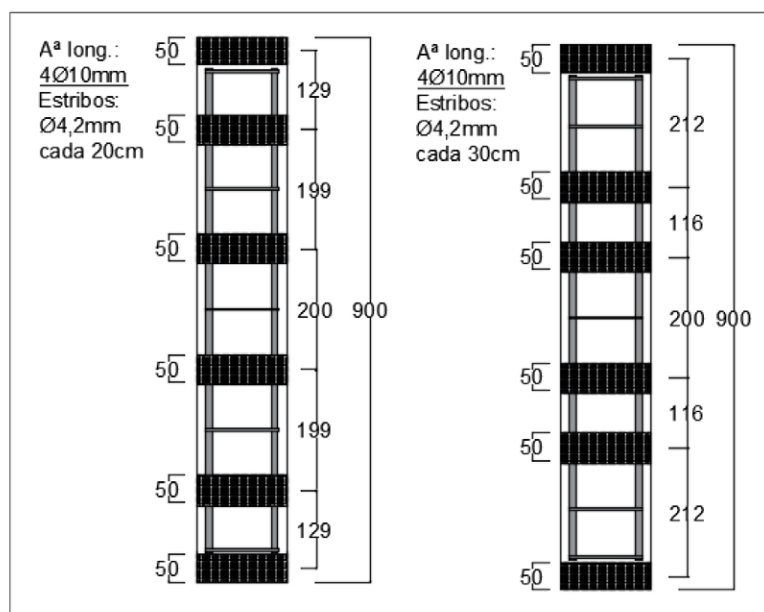


Figura 4. Refuerzo con tejido de PRFC: ubicación y dimensiones de las bandas para a) columnas con separación de estribos 200m y b) columnas con separación de estribos 300 mm

Esquema de ensayo e instrumentación

Todos los ensayos realizados consistieron en la aplicación de cargas de compresión uniaxial, cuasi-estáticas monótonas crecientes. La carga fue aplicada usando una prensa Shimadzu con sistema hidráulico con posibilidad de desarrollar una carga vertical nominal máxima de 1000 kN. Se midieron cargas y deformación axiales a partir de los cuales se construyeron luego diagramas tensión-deformación. Para medir la deformación axial promedio de las columnas, se colocaron dos comparadores digitales con una sensibilidad de 0.001mm en dos lados opuestos de las mismas a los efectos de eliminar de las lecturas posibles rotaciones. En la Figura 5 se presenta una imagen del ensayo e instrumentación utilizada.



Figura 5. Ensayo de compresión uniaxial.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presentan los resultados obtenidos experimentalmente. Se analizan modos de falla, cargas últimas y respuesta tensión-deformación.

Modos de fallas y cargas últimas

En la Tabla 3 se presentan los valores de carga máxima ($P_{m\acute{a}x.}$), tensión máxima ($\sigma_{m\acute{a}x.}$) y deformación axial correspondiente a la tensión máxima ($\sigma_{m\acute{a}x.}$), alcanzados en el ensayo de compresión uniaxial por los especímenes de hormigón armado sin refuerzo y reforzados con PRFC. También se muestra el incremento en resistencia a compresión uniaxial de las columnas reforzadas con PRFC, el cual se define como la relación entre la resistencia máxima alcanzada por dichas columnas y la correspondiente a los especímenes de referencia. Se puede ver un incremento en resistencia y deformación axial de las columnas reforzadas con respecto aquellas sin refuerzo, para las dos separaciones de estribos (200 y 300 mm). Dicho incremento es de 89 % y 100 % para los especímenes C1R20 y C2R20 (separación de estribos de 200 mm) y de 32 y 22 % para C1R30 y C2R30 (separación de estribos de 300 mm).

Todas las columnas de referencia (sin refuerzo externo de PRFC), independientemente de la separación de estribos, fallaron por aplastamiento del hormigón en la zona de apoyos, con desarrollo de fisura longitudinal en algunos casos (Figura 6 a). En esta zona, las columnas de referencia po-

seen 50 mm de H° no confinado, mientras que, en las columnas reforzadas, se aplicaron bandas de PRFC en los extremos. A esta razón posiblemente se deba el modo de falla. Con respecto a las columnas reforzadas, se observó un único tipo de falla: rotura del hormigón entre bandas de PRFC (Figura 6b). No se produjo despegue ni rotura del laminado de PRFC.

Tabla 3. Resultados experimentales

Espécimen	P _{max.} (kN)	σ _{max.} (MPa)	ε _{máx.}	Incremento en resistencia (%)
C110	320,00	14,22	0,00134	-
C210	350,00	15,55	0,00128	-
Resistencia a compresión promedio (C110-C210)= 14,89 MPa				
C120	244,00	10,84	0,0017	-
C220*	261,36	11,61	-	-
Resistencia a compresión promedio (C120-C220)= 11,23 MPa				
C1R20	478,71	21,27	0,00371	89
C2R20	505,79	22,48	0,00521	100
Resistencia a compresión promedio (C1R20-C2R20) = 21,88 MPa				
C130	367,82	16,35	0,00067	-
C230	371,80	16,52	0,00068	-
Resistencia a compresión promedio (C130-C230) = 16,44 MPa				
C1R30	487,10	21,65	0,00278	32
C2R30	451,05	20,05	0,00370	22
Resistencia a compresión promedio (C1R30-C2R30) = 20,85 MPa				

* Problemas con el sistema de medición de desplazamientos impidieron registrar los mismos hasta el final del ensayo.



Figura 6. Modos de falla: a) de columna de referencia; b) columna reforzada con PRFC

Respuesta tensión-deformación

En la Figura 7 se reproduce el diagrama tensión-deformación axial de columnas sin refuerzo y columnas reforzadas con PRFC, para las dos separaciones de estribos analizadas. Se puede ver un incremento significativo de la resistencia última y de la capacidad de deformación de los especímenes reforzados. También se observa que las curvas de las columnas reforzadas son bilineales. En los primeros pasos de carga la pendiente de la curva carga-desplazamiento de las columnas reforzadas es prácticamente la misma que aquella de las columnas sin refuerzo. La segunda parte de dichas curvas es afectada por las bandas de PRFC y muestra un comportamiento con ablandamiento. Ello se debe a que la concentración de tensiones en las esquinas de los especímenes reforzados produce una distribución no uniforme de la presión de confinamiento y como consecuencia se reduce la eficiencia de las bandas de PRFC.

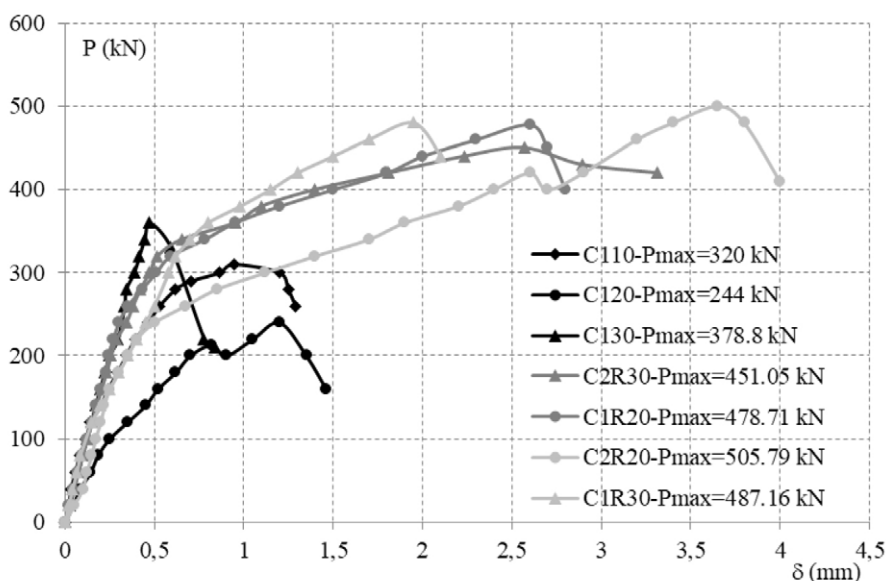


Figura 7. Curvas tensión-deformación axial.

Correlación entre resultados experimentales y teóricos

En la Tabla 5 se comparan los valores experimentales de resistencia a compresión de las columnas parcialmente confinadas con PRFC con los valores teóricos, calculados utilizando el modelo propuesto por Saadatmanesh et al. (1994). Este modelo es una adaptación del desarrollado por Mander et al. (1988) para el análisis de columnas rectangulares de hormigón sometidas a cargas monótonas y confinadas externamente con refuerzos de fibra compuesta, donde la resistencia a compresión del hormigón confinado (f'_{cc}) está dada por la expresión:

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \left(\frac{f'_i}{f'_{co}} \right)} - 2 \frac{f'_i}{f'_{co}} - 1.254 \quad (1)$$

Donde f'_{co} es la resistencia del hormigón no confinado; y f'_l la presión de confinamiento lateral efectiva del refuerzo transversal (Saadatmanesh et al., 1994). Esta presión efectiva se define como:

$$f'_l = f_l k_e \quad (2)$$

Donde,

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} \quad (3)$$

y

$$f_l = \left(\frac{2f_{fu} n t_f}{D} \right) \quad (4)$$

Para secciones transversales no circulares, f_l corresponde a la presión de confinamiento máxima de una sección transversal circular equivalente con un diámetro D, igual a la diagonal de una sección transversal cuadrada o rectangular:

$$D = \sqrt{b^2 + h^2} \quad (5)$$

donde b y h son las dimensiones de la sección transversal de la columna; f'_l es la presión lateral para el refuerzo transversal; f_{fu} es la máxima resistencia a la tracción del refuerzo de PRF; n es el número de capas de refuerzo de PRF; t_f es el espesor nominal de una capa de refuerzo de PRF; D es el diámetro del miembro de compresión de sección transversal circular; k_e es el coeficiente de efectividad del confinamiento; A_e es el área de hormigón efectivamente confinada; A_{cc} es el área efectiva de hormigón encerrada por una banda de PRF, y se determina según la siguiente ecuación:

$$A_{cc} = A_c (1 - \rho_{cc}) \quad (6)$$

donde ρ_{cc} es la relación entre el área de refuerzo longitudinal y el área bruta de hormigón; y A_c es el área de hormigón encerrada por una tira de material compuesto (Saadatmanesh et al., 1994).

Para determinar el área de hormigón efectivamente confinado entre bandas de refuerzo, se supone que entre aquellas se produce una acción de arco en forma de parábola de segundo grado con una pendiente tangente inicial de 45 grados (ver Figura 8) y que el hormigón dentro de esta parábola no está confinado (Saadatmanesh et al., 1994).

Entonces, el área de hormigón efectivamente confinado en el caso de sección rectangular se calcula a partir de (Saadatmanesh et al., 1994):

$$A_e = \left(h - \frac{s'_l}{2} \right) \left(b - \frac{s'_l}{2} \right) = hb \left(1 - \frac{s'_l}{2h} \right) \left(1 - \frac{s'_l}{2b} \right) \quad (7)$$

Donde s' es la separación vertical entre bandas de PRFC (Figura 8) y b y h son las dimensiones de la sección transversal de la columna. En el caso particular de una columna de sección cuadrada se igualan b y h y se reemplaza en la fórmula (7).

Así, sustituyendo (6) y (7) en (3), el coeficiente de eficacia del confinamiento para una sección rectangular viene dado por la siguiente expresión (Saadatmanesh et al., 1994):

$$k_e = \frac{\left(1 - \frac{s'}{2h}\right)\left(1 - \frac{s'}{2b}\right)}{1 - \rho_{cc}} \quad (8)$$

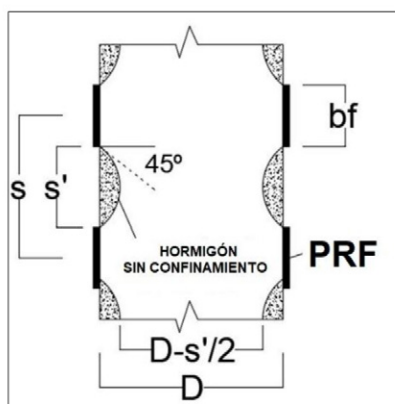


Figura 8. Confinamiento de columna no circular

Tabla 5. Comparación de resultados

Specimens	Sección Trnsv. (mm)	P_u Exp. (kN)	f'_{cc} Exp. (MPa)	f'_l (MPa)	f'_{cc} (Saadatmanesh et al., 1994) (MPa)
Promedio (C1R20-C2R20)	150 x 150	492,25	21,88	12,23	22,39
Promedio (C1R30-C2R30)	150 x 150	469,08	20,85		

CONCLUSIONES

Aun cuando es necesaria la ejecución de un mayor número de ensayos, del análisis y la comparación de los resultados experimentales y teóricos obtenidos se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

El confinamiento lateral parcial, utilizando bandas PRFC, ha demostrado ser muy eficiente en columnas de sección cuadrada con deficiencia de armadura transversal. Se lograron incrementos significativos en la resistencia última, ductilidad y valores de tensión-deformación comparables.

La falla de las columnas reforzadas se produjo entre bandas de refuerzo, por rotura del hormigón. Los especímenes conservaron el monolitismo y no se produjo despegue ni rotura del PRFC.

La resistencia a compresión axial del hormigón confinado obtenido a partir del modelo de Saadatmanesh et al. (1994) ajusta razonablemente los valores experimentales, con diferencias del 3% para las columnas reforzadas con separación de estribos de 200 mm y del 7% para los especímenes con separación de 300 mm.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay por el apoyo económico brindado, al Laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Concepción del Uruguay y en particular los Ingenieros Héctor Retamal y Ricardo Gómez.

REFERENCIAS

AL-SALLOUM, Y., (2007). Influence of edge sharpness on the strength of square concrete columns confined with PRF composites laminates. *Composites: Part B* 38, pp. 640–650.

CIRSOC 201-2005, (2005). Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina.

FANARADELLI, T. D., & ROUSAKIS, T. C. (2020). Prediction of Ultimate Strain for Rectangular Reinforced Concrete Columns Confined with Fiber Reinforced Polymers under Cyclic Axial Compression. *Polymers*, 12(11), 2691.

GUO, A.; XIE, J.; XIE, B.; ZHONG, J., (2016). Experimental study on compressive behavior of damaged normal and high-strength concrete confined with CPRF laminates. *Construction and Building Materials* 107, pp. 411–425.

IRAM 1534, (1985). Hormigón de cemento Portland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorio. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.

IRAM 1865, (2009). Hormigón de cemento. Métodos de ensayo para la determinación del módulo elástico y la relación de Poisson de probetas y testigos cilíndricos de hormigón sometidos a esfuerzos de compresión axial. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.

MAALEJ, S.; TANWONGSVAL, P.; PARAMASIVAM, P., (2003). Modelling of rectangular RC columns strengthened with PRF. *Cement & Concrete Composites* 25, pp. 263-276.

MANDER, J. B.; PRIESTLEY, M. J. N.; & PARK, R., (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 114, 8, pp. 1804-1826.

MIRALAMI, M., ESFAHANI, M. R., & TAVAKKOLIZADEH, M. (2019). Strengthening of circular RC column-foundation connections with GFRP/SMA bars and CFRP wraps. *Composites Part B: Engineering*, 172, 161-172.

MIRMIRAN, A.; ZAGERS, K.; YUAN, W., (2000). Nonlinear finite element modeling of concrete confined by fiber composites. *Finite Elements in Analysis and Design* 35, pp.79-96.

MOSTOFINEJAD, D.; ILIA, E., (2014). Confining of square RC columns with PRF sheets using corner strip–batten technique. *Construction and Building Materials* 70, pp. 269–278.

ROUSAKIS, T.; KARABINIS, A., (2012). Adequately PRF confined reinforced concrete columns under axial compressive monotonic or cyclic loading. *Materials and Structures* 45, pp. 957–975.

ROUSAKIS, T.; KARABINIS, A.; KIOUSIS, P., (2007). PRF-confined concrete members: Axial compression experiments and plasticity modeling. *Engineering Structures* 29, pp. 1343-1353.

SAADATMANESH, H.; ESHANI, M.; LI, M., (1994). Strength and ductility of concrete columns externally reinforced with fiber composite straps. *ACI Structural Journal* 91, pp. 434-447.

SADEGHIAN, P., & FILLMORE, B. (2020). Characterization of combined longitudinal and transverse FRPs for strengthening concrete columns. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 47(6), 718-728.

TENG, J. G., CHEN, J. F., SMITH, S. T., & LAM, L. (2002). *FRP: strengthened RC structures*. Wiley & Son, United Kingdom.

WEI, H.; Wu, Z.; Guo. X.; Yi, F., (2009). Experimental study on partially deteriorated strength concrete columns confined with CPRF. *Engineering Structures* 31, pp. 2495–2505.

ZENG, J. J., LIN, G., TENG, J. G., & LI, L. J. (2018). Behavior of large-scale FRP-confined rectangular RC columns under axial compression. *Engineering Structures*, 174, 629-645.

ZENG, J. J., GUO, Y. C., GAO, W. Y., CHEN, W. P., & LI, L. J. (2018). Stress-strain behavior of concrete in circular concrete columns partially wrapped with FRP strips. *Composite Structures*, 200, 810-828.