

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE VIGAS DE GRAN ALTURA DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS HÍBRIDAS

Denardi, Miqueas^{a,b}; Rougier Viviana^{a,b}; Gonzalez Federico^b; Retamal Facundo^b

^aFacultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional, Entre Ríos Argentina,
denardim@frcu.utn.edu.ar

^bFacultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional, Entre Ríos
Argentina.

Palabras clave: Vigas de gran altura, hormigón reforzado con fibras, fibras de acero, fibras de polipropileno

RESUMEN

El desarrollo de materiales con prestaciones superiores a las tradicionales constituye una línea de investigación relevante en ingeniería estructural. En este marco, el presente trabajo analiza el comportamiento del hormigón reforzado con fibras híbridas aplicado a vigas de gran altura (VGA), donde el elevado congestionamiento de armaduras transversales representa una problemática frecuente. La incorporación de fibras como refuerzo permite mejorar el control de fisuración posibilitando su utilización como reemplazo parcial o total de los estribos convencionales. En particular, se evaluó su influencia en la resistencia y ductilidad frente a esfuerzos de corte. Para ello, se ensayaron a flexión en tres puntos, VGA de hormigón armado con estribos tradicionales de barras de acero, y vigas de hormigón reforzado con fibras híbridas (de acero y polipropileno) según dos configuraciones: con reducción parcial y total del refuerzo a corte. Los resultados evidenciaron que las fibras híbridas contribuyen significativamente a la resistencia y ductilidad de las VGA, permitiendo reducir o eliminar la armadura transversal sin comprometer el desempeño estructural.

ABSTRACT

The development of high-performance materials has become a relevant research field in structural engineering. In this context, this study investigates the behavior of hybrid fiber-reinforced concrete (HFRC) applied to deep beams (DBs), where the high congestion of transverse reinforcement is a common concern. The incorporation of fibers as reinforcement enhances crack control, enabling their use as a partial or total replacement for conventional stirrups. Focus was placed on their influence on shear strength and ductility. An experimental program was conducted using three-point bending tests on reinforced concrete deep beams with conventional steel stirrups, as well as on beams reinforced with hybrid fibers (steel and polypropylene), considering two configurations: partial and total reduction of shear reinforcement. The results demonstrated that hybrid fibers significantly enhance the shear strength, ductility, and crack control of deep beams, allowing for the reduction or elimination of transverse reinforcement without compromising structural performance.

Introducción

El hormigón reforzado con fibras (HRF) ha experimentado un creciente desarrollo durante las últimas décadas debido a su capacidad para mejorar diversas propiedades mecánicas del hormigón convencional. La incorporación de fibras al hormigón ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar diversas propiedades mecánicas del material, entre ellas la resistencia a tracción y flexión, la tenacidad, la capacidad de absorción de energía y el comportamiento post-fisuración. Asimismo, las fibras contribuyen al control y distribución de fisuras, favoreciendo la durabilidad y el desempeño estructural de los elementos de hormigón^[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Las vigas de gran altura (VGA) constituyen elementos estructurales cuyo comportamiento difiere significativamente del de las vigas esbeltas debido a la reducida relación entre la luz de corte (distancia desde el punto de aplicación de la carga al centro del apoyo) y la altura útil. Las VGA tienen diversas aplicaciones estructurales debido a su capacidad de resistir grandes cargas en luces pequeñas. En las VGA, a diferencia de las vigas esbeltas, las tensiones de corte adquieren una influencia predominante sobre la resistencia última del elemento^[11]. Por esta razón, los principales reglamentos de diseño establecen requisitos mínimos de armadura transversal destinados a garantizar niveles adecuados de resistencia y serviciabilidad^[12,13,14].

Diversas investigaciones han demostrado que la capacidad resistente de las VGA puede incrementarse mediante el aumento de la resistencia a compresión del hormigón y de la cuantía de refuerzo transversal^[15, 16, 17]. Sin embargo, esta última alternativa suele derivar en elevados niveles de congestión de armaduras, dificultando las tareas de colocación y compactación del hormigón.

En este contexto, los hormigones reforzados con fibras (HRF) surgen como una alternativa tecnológica de interés. La incorporación de fibras permite mejorar la capacidad de transferencia de tensiones a través de un efecto de puente en las fisuras, lo que favorece una distribución más uniforme de tensiones y retrasa el desarrollo de fisuras de gran apertura^[1, 2, 18]. Estudios previos han mostrado que las fibras de acero y las fibras sintéticas pueden aportar resistencia adicional y, en determinadas condiciones, complementar o reducir parte del refuerzo convencional de barras de acero^[19, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

El estudio del comportamiento mecánico de las VGA resulta de gran importancia debido a sus numerosas aplicaciones en distintas estructuras. Sin embargo, en la bibliografía se encuentran pocos antecedentes de estudios de VGA de HRFH empleando fibras de acero y macrofibras de polipropileno en sustitución total de la armadura de refuerzo a corte. Por ello, resulta necesario contar con resultados experimentales que permitan cuantificar los beneficios que el uso de este material compuesto tiene sobre el comportamiento mecánico de las VGA.

Programa experimental

El programa experimental consistió en la elaboración y ensayo a flexión en tres puntos de 5 VGA elaboradas con 2 tipos de hormigón: simple y reforzado con una combinación fibras de acero y polipropileno (HRFH). Además se elaboraron y

ensayaron probetas cilíndricas de acuerdo a **IRAM 1546** para caracterizar el comportamiento mecánico del hormigón.

3 vigas fueron elaboradas con hormigón armado de las cuales: 1 tenía armadura de flexión y corte en la dirección longitudinal y transversal, 1 con armadura de flexión y armadura de corte reducida y solo en la dirección transversal y 1 solo con armadura de flexión.

Los 2 especímenes restantes se elaboraron con HRFH con 0.5% del volumen de fibras de acero y 0.5% de macrofibras de polipropileno. De los cuales, 1 espécimen fue armado con armadura de corte reducida (V-AR-HRFH) y 1 espécimen solo con armadura de flexión (V-SA-HRFH).

En la **Tabla 1** se presenta la descripción de los especímenes ensayados, en cuanto a denominación, características geométricas y contenido de fibras en porcentajes de volumen.

Seguidamente se describen dichos especímenes, propiedades de los materiales y procedimiento de ensayo e instrumentación.

La nomenclatura empleada es la siguiente: V-SA (viga sin armadura de refuerzo a corte) ver **Figura 3**, V-AR (viga con armadura de corte reducida) armada de acuerdo a **Figura 2**, V-AC (viga con armadura de corte reglamentaria) de acuerdo a **Figura 1**, V-SA-HRFH (viga sin armadura de corte y de hormigón reforzado con fibras) y V-AR-HRFH (viga con armadura de corte reducida y de hormigón reforzado con fibras).

Especímen	Fibras		Armadura de corte
	Acero %	Polipropileno %	
V-SA	-	-	-
V-AR	-	-	Reducida
V-AC	-	-	Completa
V-SA-HRFH	0.5	0.5	-
V-AR-HRFH	0.5	0.5	Reducida

Tabla 1 – Detalle de los especímenes.

Especímenes

El diseño de las VGA se realizó siguiendo los lineamientos del Cirsoc 201-05 Ápendice A. Cada espécimen tiene una longitud de 600 mm con una luz entre apoyos de 500 mm y una sección de 300 mm de alto y 100 mm de ancho. La luz de corte (distancia desde el punto de aplicación de la carga al centro del apoyo) es de 250 mm y la

relación entre la luz libre y la altura es de 1.67 (los reglamentos CIRSOC y ACI, establecen que dicha relación sea menor que 4, para considerar una viga como de gran altura).

En todos los especímenes se colocó armadura de flexión. En las vigas de la serie “CA” se colocó armadura de corte según **Apéndice A, “Método de Bielas y Tirantes”, Cirsoc 201-05**. En el resto de los especímenes se colocó armadura de corte reducida y solo en la dirección perpendicular a la luz del tramo. En la **Figura 1** se muestra la geometría y esquema de armadura de un espécimen con armadura de flexión y corte completa, en la **Figura 2** otro con armadura de corte reducida: sin refuerzo horizontal a corte y con 4 estribos verticales en lugar de 6 (lo que implica una reducción del 33% en la cuantía vertical referida a la sección total de hormigón). Por su parte, en la **Figura 3** se muestran los detalles de un espécimen sin armadura de corte.

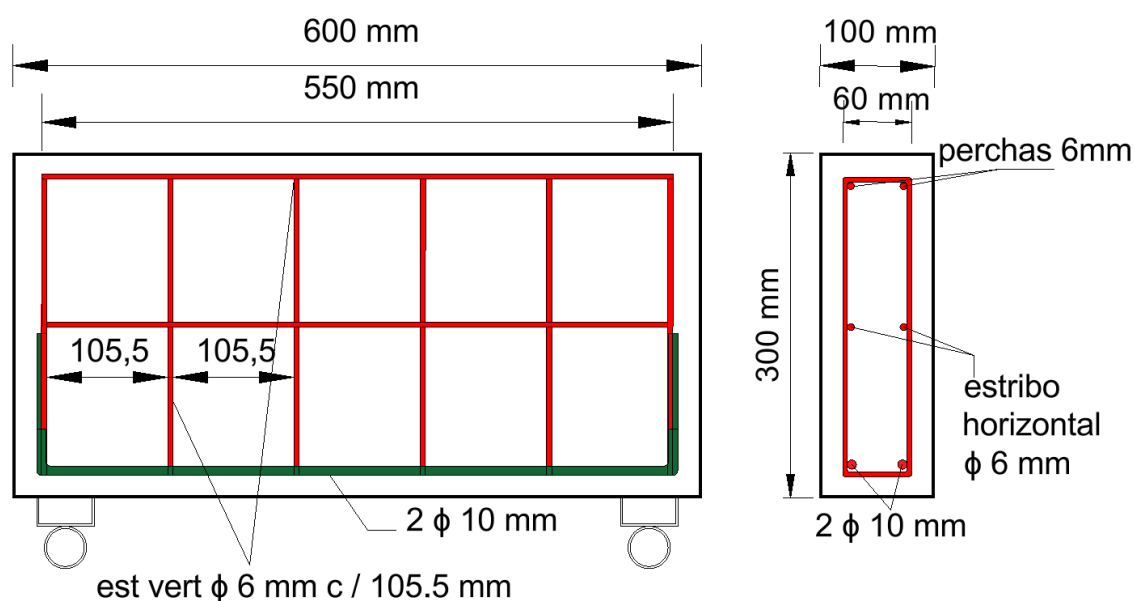


Figura 1. Geometría y esquema de armado de espécimen con armadura de corte reglamentaria.

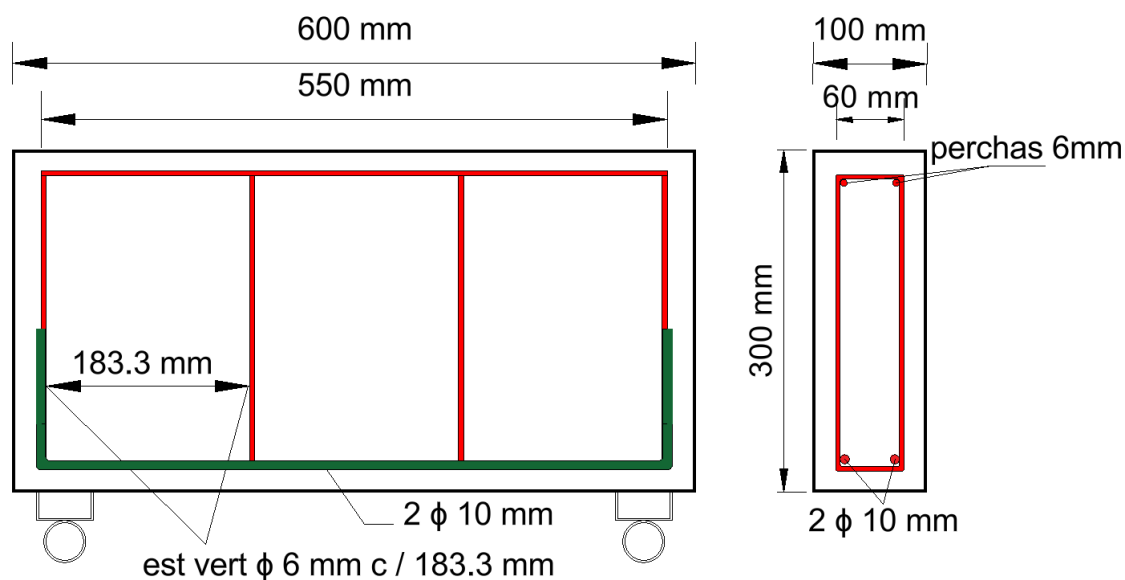


Figura 2. Geometría y esquema de armado de espécimen con armadura de corte reducida.

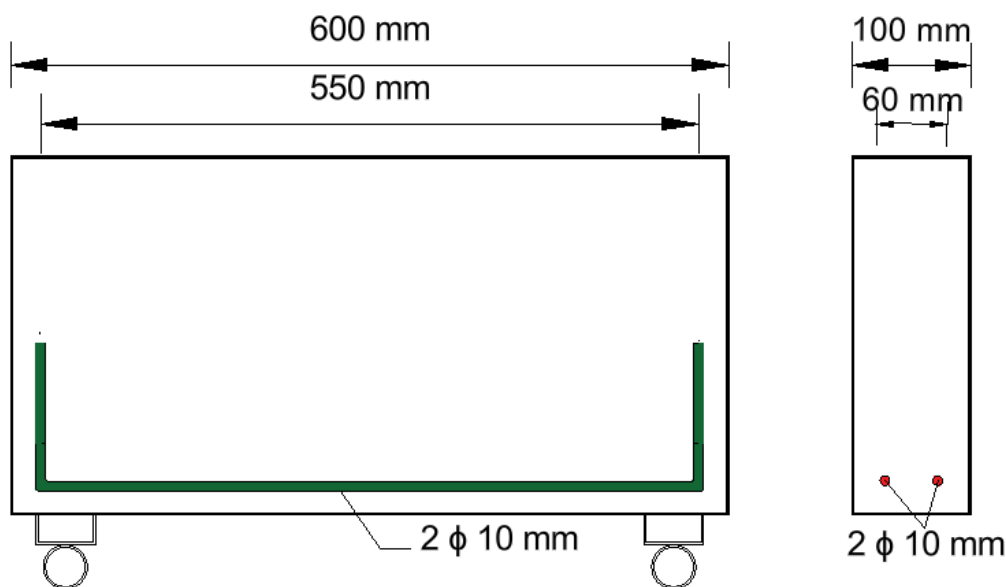


Figura 3. Geometría y esquema de armado de espécimen sin armadura de corte.

Materiales

Hormigón

En la ejecución de las vigas se utilizaron 2 tipos de hormigón: simple y HRFH, dosificados según el Método ICPA de Diseño Racional de Mezclas de Hormigón del

Organiza:

Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA) en función de obtener una resistencia característica de rotura a compresión a los 28 días de 25 MPa. Se trabajó con agregados de la zona y cemento portland compuesto (CPC40). En la **Tabla 2** se detalla la dosificación para 1 m³.

	kg
Agua	182,55
Cemento	356,99
Agregado grueso	985,77
Agregado fino	762,26

Tabla 2. Dosificación del hormigón

La resistencia a compresión se determinó mediante ensayos de compresión uniaxial sobre probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm, según normas **IRAM 1534 y 1865**, respectivamente. La resistencia media a compresión f'_m de los dos tipos de hormigón para cada una de las campañas se muestra en la **Tabla 3**.

Tipo de Hormigón	Resistencia a la compresión (MPa)
HS	24.84
HRFH	25.61

Tabla 3. Resistencia a la compresión del hormigón.

Acero

Para la armadura principal y la constructiva de todas las vigas se empleó acero Acindar de dureza natural denominado comercialmente DN A-420, con límite de fluencia de 420 MPa, resistencia a la tracción de 500 MPa y alargamiento porcentual a la rotura del 12%.

Fibras

Las fibras de acero empleadas en la elaboración del HRFH son de extremo en gancho del tipo AR65, con una longitud de 50 mm, un diámetro de 0.8 mm, con una relación de aspecto de 50 y con un módulo elástico de 2100000 MPa. Además, se utilizaron macrofibras de polipropileno MACRONITA®, son fibras sintéticas

recortadas de materiales poliméricos, con una longitud de 60 mm, un diámetro de 0.6 mm y, una relación de aspecto de 83. Este tipo de fibras es químicamente inerte, tienen estabilidad volumétrica, un bajo módulo de elasticidad y bajo punto de fusión.

Procedimiento de ensayo e instrumentación.

Con el objetivo de conocer el comportamiento mecánico de las VGA, se las sometió al ensayo de flexión en 3 puntos. Estas pruebas implicaron la aplicación de cargas cuasi estáticas monótonas crecientes en el centro de la luz de las vigas. Las mismas fueron aplicadas usando una prensa Shimadzu con sistema hidráulico con capacidad de desarrollar una carga vertical nominal máxima de 1000 kN. Los valores de los desplazamientos se registraron con un comparador digital Mitutoyo.

En las **Figuras 4, 5 y 6** se muestra el esquema de ensayo e instrumentación utilizados.

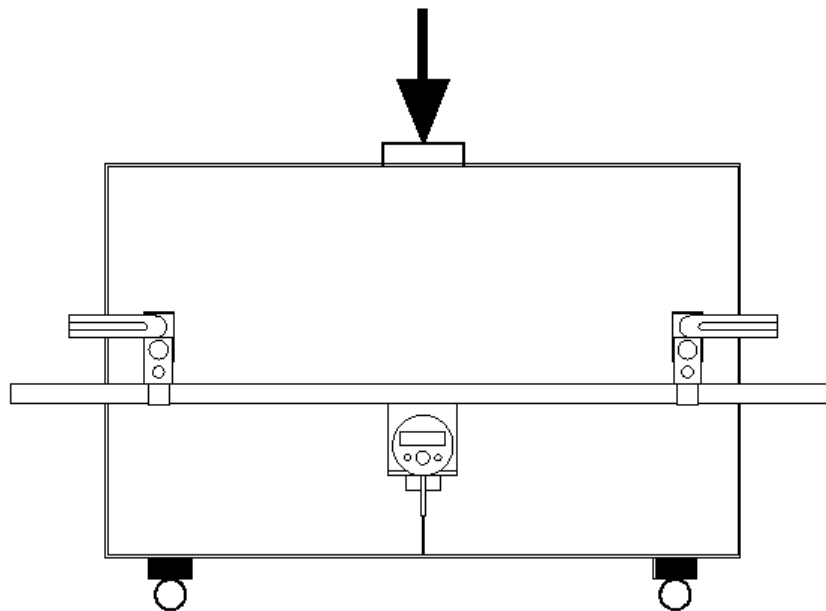


Figura 4. Esquema de ensayo e instrumentación



Figura 5. Ensayo a flexión en 3 puntos de VGA.

Resultados

En la **Tabla 4** se presentan los valores promedio de carga máxima (P_{max}), desplazamiento vertical correspondiente a dicha carga, carga de primera fisura y los modos de falla..

Especimen	Primera Fisura (kN)	Carga máxima (kN)	Desplazamiento carga máxima	Modos de falla
V-SA	90	106	0,42	Apoyo
V-AR	95	229	1,62	Corte y flexión
V-AC	100	251	1,80	Corte y flexión
V-SA-HRFH	95	219	2,27	Corte
V-AR-HRFH	95	229,5	2,30	Corte y flexión

Tabla 4. Resultados de ensayo a flexión de VGA.

Carga de primera fisura y carga máxima.

Los resultados de los ensayos mostraron que las cargas de primera fisura de los especímenes de HRFH para ambas configuraciones de armadura resultaron similares a los registrados para los especímenes de HA sin fibras.

En cuanto a la carga máxima de la VGA de HRFH sin armadura de refuerzo a corte (V-SA-HRFH) registró un incremento de 105% comparada con la carga máxima de la viga de HA sin fibras y con armadura de refuerzo a corte (V-SA). Por su parte la viga de HRFH y armadura de corte reducida (V-AR-HRFH) registró una carga máxima similar a la del espécimen de HA sin fibras y con armadura de corte reducida.

Los especímenes de HRFH para ambas configuraciones de refuerzo de barras de acero no alcanzaron la carga máxima registrada por la viga de HA sin fibras y con armadura de corte reglamentaria.

Modos de falla

La viga de HA sin armadura de refuerzo a corte (V-SA) falló por aplastamiento-fisuración vertical en el apoyo. La viga de HRFH sin armadura de corte (V-SA-HRFH) mostró una falla por corte o compresión de la diagonal. El resto de los especímenes (V-AR, V-AC y V-AR-HRFH) mostraron falla combinada de corte y flexión.

En general, se observó que las vigas de HRFH mostraron patrones de fisuración mas extensos en el espacio, con mayor cantidad de fisuras y de menor apertura que las de las vigas de HS que mostraron fisuras localizadas y de mayor tamaño. Todos los especímenes conservaron el monolitismo luego de la falla.

En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se muestran los modos de falla de las vigas de cada campaña.



Figura 6. Modo de falla espécimen V-SA



Figura 7. Modo de falla espécimen V-AR



Figura 8. Modo de falla espécimen V-CA



Figura 9. Modo de falla espécimen V-SA-HRFH



Figura 10. Modo de falla espécimen V-AR-HRFH.

Curvas carga-desplazamiento

En la figura 11 se reproducen las curvas carga – desplazamiento de las vigas de HA sin fibras sin armadura de refuerzo a corte (V-SA), con armadura de corte reducida (V-AR) y con armadura de corte reglamentaria (V-AC), y las correspondientes a las vigas de HRFH sin armadura de corte (V-SA-HRFH) y con armadura de corte reducida

Organiza:

(V-AR-HRFH).

La viga de HA sin fibras y con armadura de corte reglamentaria registró una resistencia un 9.6% mayor a las vigas de HA pero con armadura reducida. La rigidez inicial del espécimen de HA con armadura de corte reducida fue menor que la de la viga con armadura de corte reglamentaria, la capacidad de deformación del espécimen con armadura reglamentaria resultó algo mayor en comparación al de HA con armadura reducida. El espécimen de HRFH sin armadura de corte alcanzó una carga máxima un 106% mayor a la viga de HA sin armadura de corte, un 4% menor a la viga de HA con armadura de corte reducida y un 12% menor a la viga de HA con armadura de corte reglamentaria. Por su parte, la viga de HRFH con armadura de corte reducida corte (V-AR-HRFH) alcanzó una carga máxima similar a la registrada por la viga de HA con armadura de corte reducida y un 8.5% menor a la viga de HA con armadura de corte reglamentaria.

La capacidad de deformación de las VGA de HRFH fue superior a la de las vigas de HA sin fibras, mostrando una rigidez inicial superior a todos los especímenes de HA sin fibras.

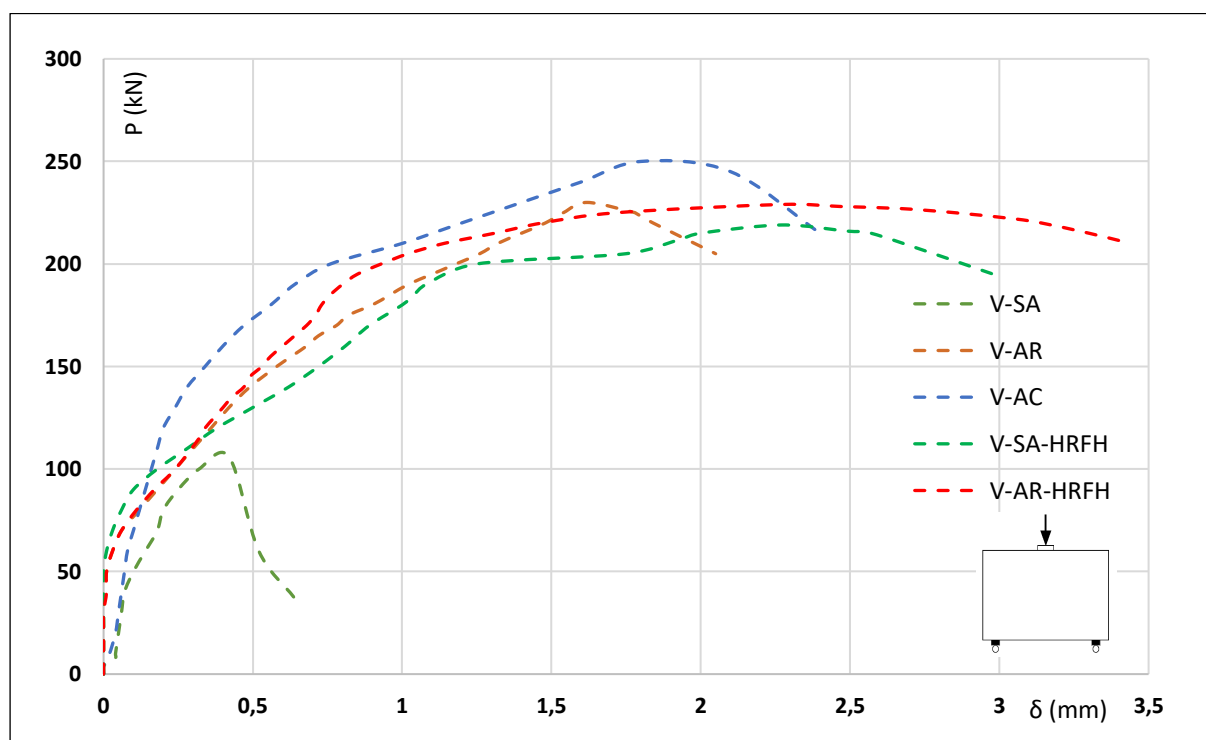


Figura 11. Curvas carga – desplazamiento.

Conclusiones

Se presentó un estudio experimental de la capacidad resistente a corte de VGA de hormigón armado y hormigón armado reforzado con fibras hibridas (HRFH). Del análisis y comparación de los resultados, se puede decir que:

La incorporación de fibras de acero y polipropileno mejoró el comportamiento en resistencia de las vigas con armadura a corte reducida y sin armadura de corte.

Los especímenes de HRFH mostraron mayor capacidad de deformación que los de HA sin fibras, y para el caso de los especímenes sin armadura de corte la viga de HRFH mostró mayor resistencia que el espécimen de HA sin fibras.

Los especímenes de HRFH mostraron patrones de fisuración más distribuidos en el espacio y con menor apertura de fisura.

Referencias

- [1] Pham, T.M., 2025. Fibre-reinforced concrete: State-of-the-art review on bridging mechanism, mechanical properties, durability, and eco-economic analysis. *Construction and Building Materials*, vol. 22.
- [2] Wang, G., Zhuang, Y., Song, L., He, Z., Zhang, J. y Zhou, H., 2025. Mechanical properties and failure mechanism of fiber-reinforced concrete materials: Effects of fiber type and content. *Construction and Building Materials*.
- [3] Lantsoght, E.O.L., 2019. How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups? *Composites Part B*, vol. 175.
- [4] Cuenca, E., 2015. On Shear Behavior of Structural Elements Made of Steel Fiber Reinforced Concrete. Universitat Politècnica de València, España.
- [5] Heek, P. y Mark, P., 2017. Numerical Simulation of Steel Fibre Reinforced Concrete Girders Subjected to Cyclic Loads. *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*, pp. 356-365.
- [6] Singh, H., 2014. *Steel Reinforced Concrete*. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering.
- [7] ACI Committee 544, 1996-2002. ACI 544.1R: Report on Fiber Reinforced Concrete. American Concrete Institute.
- [8] Katzer, J., 2006. Steel Fibers and Steel Fiber Reinforced Concrete in Civil Engineering. *The Pacific Journal of Science and Technology*.
- [9] Kotecha, P. y Abolmaali, A., 2019. Macro Synthetic Fibers as Reinforcement for Deep Beams with Discontinuity Regions: Experimental Investigation. *Engineering Structures*.
- [10] Ortiz Navas, F., Leiva Herdocia, G., Serna, P. y Cuenca, E., 2018. An Experimental Study on the Shear Behaviour of Reinforced Concrete Beams with Macro-Synthetic Fibres. *Construction and Building Materials*, vol. 169.
- [11] Shabanlou, M., Meghadadi, Z. y Ghaffar, S., 2025. Experimental and Analytical Study of the Residual Performance of Reinforced Concrete Deep Beams with Circular

Web Openings. Results in Engineering.

- [12] CIRSOC 201-2005. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles.
- [13] ACI Committee 318, 2014. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14). American Concrete Institute.
- [14] Eurocódigo 2. BS EN 1992-1-1. Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings.
- [15] Aguilar, G., Matamoros, A.B., Parra-Montesinos, G.J. y Wight, J.K., 2002. Experimental Evaluation of Design Procedures for Shear Strength of Deep Reinforced Concrete Beams. ACI Structural Journal, pp. 539-548.
- [16] Mohammadhassani, M., Nezamabadi-Pour, H., Jumaat, M.Z., Jameel, M., Hakim, S.J.S. y Zargar, M., 2012. Application of the ANFIS Model in Deflection Prediction of Concrete Deep Beam. Structural Engineering and Mechanics, vol. 45, pp. 319-332.
- [17] Choi, Y., Lee, H., Chu, S., Cheong, S. y Jung, W., 2012. Shear Behavior and Performance of Deep Beams Made with Self-Compacting Concrete. International Journal of Concrete Structures and Materials.
- [18] Hamoda, A., Emara, M., Ahmed, M. y Abadel, A., 2025. Shear Strengthening of High-Strength Reinforced Concrete Deep Beams with Openings Using High-Performance Concrete Mortars. International Journal of Concrete Structures and Materials.
- [19] Mirzaaghabeik, H., Mashaan, N. y Shukla, S., 2025. Shear Behavior of Ultra-High-Performance Concrete Deep Beams Reinforced with Fibers: A State-of-the-Art Review. Infrastructures.
- [20] Canbolat, B.A., Parra-Montesinos, G.J. y Wight, J.K., 2005. Experimental Study on Seismic Behavior of High Performance Fiber Reinforced Cement Composite Coupling Beams. ACI Structural Journal, 102(1), pp. 159-166.
- [21] Parra-Montesinos, G., 2006. Shear Strength of Beams with Deformed Steel Fibers: Evaluating an Alternative to Minimum Transverse Reinforcement. Concrete International, pp. 58-65.
- [22] Parra-Montesinos, G., Wight, J.K., Dinh, H., Libbrecht, A. y Padilla, C., 2006. Shear Strength of Fiber Reinforced Concrete Beams Without Stirrups. Report No. UMCEE 06-04, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 39 pp.
- [23] Shahabi, S., Hassan, Z.M., Mahdavi, M., Dezfouli, M., Rahvar, M.T., Naseri, M. y Jazani, N.H., 2007. Steel Fibers as Replacement of Web Reinforcement for RCC Deep Beams in Shear. Asian Journal of Civil Engineering, 8, pp. 479-489.
- [24] Tuchscherer, R.G. y Quesada, A., 2015. Replacement of Deformed Side-Face

Steel Reinforcement in Deep Beams With Steel Fibers. Structures, vol. 3, pp. 130-136.

[25] Abadel, A.A. y Albidah, A.S., 2019. Investigation of Shear Reinforcement Schemes for RC Deep Beams. Arabian Journal for Science and Engineering.