

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE VIGAS DE GRAN ALTURA DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS: ANÁLISIS EXPERIMENTAL.

Miqueas C. Denardi¹, Viviana C. Rougier²

1 Universidad Tecnológica Nacional – Regional Concordia.

2 Universidad Tecnológica Nacional – Regional Concepción del Uruguay.

Palabras Clave: Vigas de gran altura, resistencia a corte, hormigón reforzado con fibras.

Introducción

El hormigón tiene una resistencia a la tracción considerablemente menor que a compresión. El uso de fibras como agregado a la masa de hormigón es una alternativa útil al refuerzo tradicional de barras de acero. Muchos estudios han demostrado que el uso de fibras en el hormigón permite una reducción de la cuantía de barras de acero en distintas aplicaciones estructurales [1], [2], [3], [4], [5],[6].

La utilización del hormigón reforzado con fibras resulta de gran interés desde el punto de vista práctico y económico en el caso particular de vigas de gran altura (VGA) que por sus características de comportamiento mecánico requieren de gran cantidad de armadura de refuerzo, [7],[8],[9],[10],[11],[12],[13].

En este trabajo se muestran los resultados de una campaña experimental en la que se evaluó la efectividad del uso de fibras de acero e híbridas (de acero y macrofibras de polipropileno) como agregado al hormigón en VGA, en reemplazo parcial de la armadura tradicional de barras de acero. Actualmente no hay a nivel nacional una normativa sobre el uso de fibras como refuerzo en hormigones, por ello, este trabajo es un aporte al conocimiento del comportamiento mecánico de dicho material compuesto.

Campaña experimental

El programa experimental consistió en la elaboración y ensayo a flexión en tres puntos de 36 VGA elaboradas con 3 tipos de hormigón: simple, HRFA (hormigón reforzado con fibras de acero) y HRFH (hormigón reforzado con fibras híbridas). Dicho programa se desarrolló en 3 etapas de 12 VGA cada una. Además, se elaboraron y ensayaron probetas cilíndricas y vigas tipo RILEM para caracterizar el comportamiento mecánico del hormigón.

18 vigas fueron elaboradas con hormigón simple, 9 con armadura de flexión y corte en la dirección paralela y perpendicular a la luz del tramo, y 9 con armadura de flexión y armadura de corte reducida y solo en la dirección perpendicular a la luz del tramo.

Con HRFA se elaboraron 12 especímenes según dos volúmenes de fibras de acero: 3 con 1% del volumen (80 kg/m³) y 9 con 0.5% del volumen (40 kg/m³).

Los 6 especímenes restantes se elaboraron con HRFH con 0.5% del volumen de fibras de acero y 0.5% de macrofibras de polipropileno. Todas las VGA de HRFA y HRFH se fabricaron con armadura de flexión y armadura de corte reducida.

El diseño de las VGA se realizó siguiendo los lineamientos del **Cirsoc 201** **Ápndice A[14]**, con 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 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 dispuso armadura de corte reducida y solo en la dirección perpendicular a la luz del tramo

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. La nomenclatura utilizada es la siguiente: V, hace referencia a las VGA. La sigla CA, representa a los especímenes de hormigón simple con armadura a corte reglamentaria, mientras que la SA hace referencia a las vigas de hormigón simple y armadura a corte reglamentaria reducida. Los especímenes de hormigón reforzado con fibras de acero son representados con la nomenclatura HRFA, en los que 05 y 1, representa el porcentaje de adición de fibras en volumen que es 0.5% y 1% respectivamente. Por su parte, las letras HRFH representan los especímenes de hormigón reforzado con fibras híbridas

Tabla 1. Detalle de los especímenes de VGA.

Campaña	Especimen	Fibras		Armadura de corte
		Acero %	Polipropileno %	
I	V-CA	-	-	Mínima completa
	V-SA	-	-	Reducida
	V-HRFA	0,5	-	Reducida
	V-HRFA-1	1	-	Reducida

II	V-CA	-	-	Mínima completa
	V-SA	-	-	Reducida
	V-HRFA	0,5	-	Reducida
	V-HRFH	0,5	0,5	Reducida
III	V-CA	-	-	Mínima completa
	V-SA	-	-	Reducida
	V-HRFA	0,5	-	Reducida
	V-HRFH	0,5	0,5	Reducida

Materiales

Hormigón

En la ejecución de las vigas se utilizaron 3 tipos de hormigón: simple, HRFA y HRFH, dosificados 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 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.

En la **Tabla 3** se muestra la resistencia media a compresión (f'_m) y la correspondiente desviación estándar (s_m) de los tres tipos de hormigón para cada una de las campañas.

Fibras

Las fibras de acero empleadas 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 62 y con un módulo elástico de 210 GPa.

Para la elaboración del HRFH se utilizaron además macrofibras de polipropileno MACRONITA®, son fibras sintéticas recortadas de materiales poliméricos, con una longitud de 50 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

Tabla 2. Dosificación del hormigón

Material	Cantidad (Kg)
Agua	182,55
Cemento	356,90
Canto rodado	985,77
Agregado fino	762,26

Tabla 3. Resistencia a la compresión del hormigón.

Etapa	Tipo de hormigón	Resistencia media a la compresión: f'_m (MPa)	S_m
I	HS	26,07	2,25
	HRFA	32,48	2,20
	HRFA-1	33,87	3,02
II	HS	31,28	1,79
	HRFA	26,20	1,25
	HRFH	27,42	1,39
III	HS	30,73	2,56
	HRFA	33,31	3,08
	HRFH	35,51	4,12

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 tomaron de manera continua con un equipo HBM QuantumX MX840B conectado a una computadora con el software CatmanEasy.



Figura 1 – Instrumentación del ensayo a flexión de las VGA.

Resultados

En la **Tabla 4** se presentan los valores promedio de carga de primera fisura (P_{cr}), la desviación estándar (S_{cr}), carga máxima (P_{max}), la desviación estándar (S_{max}), desplazamiento vertical correspondiente a dicha carga (δ_{max}) y los modos de falla. Además, se muestra el porcentaje de incremento de las cargas máxima y primera fisura de las vigas de hormigón reforzado con fibras en comparación con los especímenes de hormigón simple con armadura de corte reducida.

Tabla 2. Resultados de ensayo a flexión de VGA.

Campaña	Especímen	P_{cr} (N)	S_{cr}		P_{max} (N)	S_{max}		δ_{max} (mm)	Modo de falla
				% incremento			% incremento		
I	V-SA	92000	7937	-	120000	6377	-	1,04	corte
	V-CA	94000	13144	-	140000	4337	-	0,98	corte

	V-HRFA	121666,6	12583	29,43	151285,6	8554	26,07	1,02	corte
	V-HRFA-1	120000	15176	27,65	167074,3	16985	39,23	1,18	corte
II	V-SA	94000	7549	-	147540,0	20611	-	0,77	Aplastamiento en apoyos
	V-CA	100000	5000	-	164412,3	16348	-	0,90	corte
	V-HRFA	100000	11547	6,38	158700,6	8364	7,56	0,94	corte
	V-HRFH	105000	2886	11,70	170253,4	8503	15,39	0,97	corte
III	V-SA	95000	5000	-	143547,0	22867	-	0,92	corte
	V-CA	95000	5291	-	183692,5	21980	-	2,03	corte
	V-HRFA	105000	7718	10,52	190554,5	6233	32,75	2,31	corte
	V-HRFH	115000	7637	21,05	198152,0	13813	38,04	3,10	Corte y flexión

Conclusiones

En este trabajo se presentó un estudio experimental de la capacidad resistente a corte de VGA de HS, HRFA y HRFH sometidas al ensayo de flexión con carga monotónica. Del análisis y comparación de los resultados se puede decir que:

La incorporación de fibras de acero mejoró el comportamiento en resistencia de las vigas con armadura a corte reducida. Al aumentar el volumen de fibras agregado al hormigón, se logró un incremento significativo de la capacidad resistente.

En general se observó que la adición de un solo tipo de fibras, y más aún, el agregado de dos tipos diferentes, fibras de acero y fibras de polipropileno, permitió obtener cargas correspondientes a la primera fisura mayores que las obtenidas en el caso de los especímenes con armadura de corte mínima y armadura de corte reducida.

Algunos de los especímenes de hormigón reforzado con fibras mostraron modos de falla combinado a corte y flexión lo que demuestra la eficiencia del uso de las fibras como refuerzo al corte.

Los especímenes de HRFH mostraron en general, mayor resistencia y capacidad de deformación que los de HS y HRFA.

Referencias

- [1] Zerbino R., Barragán B. E., Conforti A., Cuenca Asensio E., Gettu R., Giaccio G., Isla F., Luccioni B., Nayar S. K., Pombo R., Torrijos M. C., Stephen S.J., Vivas J. C. "Hormigón reforzado con fibras". 1ª edición, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, (2020), 369 páginas.
- [2] Lantsoght Eva O. L., 2019. How do steel fibers improve the shear capacity of reinforced concrete beams without stirrups? Composites Part B, vol. 175.
- [3] Cuenca E., 2015. On Shear Behavior of Structural Elements Made of Steel Fiber Reinforced Concrete. Universitat Politècnica de València, España.
- [4] 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.
- [5] Harvinder Singh, 2014. Steel Reinforced Concrete. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering
- [6] ACI 544.1R, 1996-2002. Report on fiber reinforced concrete.
- [7] Chittaranjan B. Nayak, 2021. Experimental and numerical study on reinforced concrete deep beam in shear with crimped steel fiber. Innovative Infrastructure Solutions vol 7:41.
- [8] Aref A. Abadel y Abdulrahman S. Albidah, 2019. Investigation of Shear Reinforcement Schemes for RC Deep Beams. Arabian Journal for Science and Engineering.
- [9] Suhail Shaikh, S. K. Kulkarni, S. S. Patil y S. A. Halkude, 2017. Effect Of Hybrid Fibre Reinforcement In Concrete Deep Beams. Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR), vol. 3.
- [10] Moradi, M. y Reza Esfahani, M., 2017. Application of the strut-and-tie method for steel fiber reinforced concrete deep beams. Construction and Building Materials, vol. 131, pp. 423-437.
- [11] Campione G., 2012. Flexural Behavior of Steel Fibrous Reinforced Concrete Deep Beams. Journal of structural engineering, pp. 235-246.
- [12] Madan, G. Rajesh Kumar y S. P. Singh, 2007. Steel fibers as replacement of web reinforcement for rcc deep beams in shear. Asian Journal of civil engineering (building and housing), vol 8.
- [13] Smarzewski P, 2019. Analysis of Failure Mechanics in Hybrid Fibre-Reinforced High-Performance Concrete Deep Beams with and without Openings. Materials vol 12, 101.
- [14] CIRSOC 201-2005. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón.