

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE TUBOS DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS HÍBRIDAS

Federico González¹, Viviana Rougier¹

1 UTN-Facultad Regional Concepción del Uruguay

Palabras Clave: hormigón, refuerzo, fibras híbridas, tubos.

Introducción

En las últimas décadas, se ha extendido el uso de un solo tipo de fibras, ya sean de acero o sintéticas, como refuerzo del hormigón en tubos premoldeados. Sin embargo, el hormigón tiene comportamiento a la fractura en múltiples escalas y un tipo de fibra proporciona refuerzo solo en un nivel y dentro de un rango limitado de deformaciones. Por ello, un refuerzo más eficiente podría lograrse utilizando la combinación de fibras de diferentes materiales, geometría y/o características mecánicas [1]. El hormigón reforzado con dos o más tipos de fibras, combinadas racionalmente, se denomina Hormigón Reforzado con Fibras Híbridas (HRFH). El principal propósito de usar fibras híbridas es mejorar el control de la fisuración en diferentes zonas del hormigón, a distintas edades y niveles de carga [2]. Además, dos o más tipos de fibras, combinadas adecuadamente, generan mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del material a partir de la acción de cada una de ellas [3], lo que conduce a la mejora de la respuesta estructural del elemento analizado [4, 5].

Actualmente, existen normas que regulan la utilización del hormigón reforzado con fibras para la fabricación de tubos en distintos países del mundo, como por ejemplo en España, Brasil y Estados Unidos. Sin embargo, dichas normas contemplan la utilización de un solo tipo de fibra como refuerzo, mientras que el uso de la combinación de diferentes tipos de fibras en este tipo de elemento ha sido escasamente estudiado [6].

En este trabajo se analiza experimentalmente la capacidad de carga de tubos de HRFH (THRFH), de acero y polipropileno, de 600 mm de diámetro interior sometidos al ensayo de compresión diametral de tres aristas. Los resultados se comparan con los obtenidos para tubos de hormigón armado (THA) Clase II según la norma IRAM 11503 [7] y con tubos de hormigón reforzados con fibras de acero (THRFA), elaborados y ensayados durante la misma campaña experimental.

Metodología

Se elaboraron y ensayaron tubos de 600 mm de diámetro interior, 1000 mm de longitud y un espesor de pared de 75 mm. Dichas dimensiones son las establecidas por la norma IRAM 11503 [7] para tubos Clase II, que es la clase resistente de los tubos de control en este trabajo. En la Tabla 1 se muestra la cantidad y denominación de los especímenes a ensayar agrupados de acuerdo a sus características de refuerzo.

Tabla 1: Denominación, contenido de fibras y cantidad de especímenes elaborados.

Denominación	Fibras de acero (FA)	Relación de aspecto de FA	Fibras de Polipropileno (FPP)	Vol. total de Fibras	Cantidad De tubos
THA	-	-	-	0	4
THRFA-20(50)	20 kg/m ³	50	-	0,26 %	4
THRFH-20(50)/0.5	20 kg/m ³	50	0,5 kg/m ³	0,31 %	4
THRFH-20(50)/1.0	20 kg/m ³	50	1,0 kg/m ³	0,37 %	4
THRFH-20(67)/0.5	20 kg/m ³	67	0,5 kg/m ³	0,31 %	3
THRFH-20(67)/1.0	20 kg/m ³	67	1,0 kg/m ³	0,37 %	3




El grupo de control está constituido por los tubos de hormigón armado (THA), reforzados con la malla tradicional de acero para clase resistente II según IRAM 11503 [7]. Dicha armadura está formada por 7 barras de acero de 6 mm de diámetro en sentido longitudinal y una cuantía de 1,5 cm²/m en sentido transversal. El grupo de tubos de hormigón reforzado con fibras de acero (THRFA-20(50)) contiene 20 kg/m³ de fibras de refuerzo. Estas fibras de acero poseen una relación de aspecto igual a 50, siendo dicha relación igual al cociente entre su longitud y su diámetro equivalente.

Los tubos de hormigón reforzado con fibras híbridas (THRFH) se reforzaron con dos combinaciones de fibras diferentes: 20 kg/m³ de FA más 0,5 kg/m³ de FPP y 20 kg/m³ FA más 1,0 kg/m³ de FPP. Para ambas dosificaciones se emplearon dos relaciones de aspecto diferentes en las FA, 50 y 67.

Los especímenes ensayados se elaboraron en una empresa de premoldeados de la región mesopotámica Argentina. Para este trabajo, se adoptó la misma proporción de la mezcla que utiliza la empresa para elaborar los tubos que comercializa. La mezcla de hormigón tenía una consistencia muy seca y gran cohesión debido a que, durante la etapa de producción, el tubo era desmoldado casi inmediatamente después del llenado. Las cantidades por metro cúbico de los pastones fueron: agua 80 lts, cemento 300 kg, arena silíceo 980 y grava 1020 kg. Los agregados provenían de canteras de la zona, el canto rodado tenía un tamaño máximo igual a 1/2" y el módulo de fineza de la arena fue igual a 2,52.

Las fibras de refuerzo fueron agregadas manualmente a la mezcla, arrojándolas dentro de la mezcladora con la precaución de distribuirlas uniformemente en toda la superficie, a fin de evitar la formación de erizos. Se utilizaron dos tipos diferentes de macrofibras de acero (WIRAND® FF1 y WIRAND® FF3) y macrofibras de polipropileno (MACRONITA® 0.6). En la Tabla 2, se presentan las características geométricas de las fibras utilizadas, algunas de sus propiedades más importantes y se pueden observar sus formas.

Tabla 2: Características geométricas y mecánicas de las fibras empleadas como refuerzo.

Material de las fibras	Longitud mm	Diámetro mm	Densidad Kg/m ³	Módulo GPa	Tracción MPa	Forma
Polipropileno	50	0,60	920	6	500	
Acero	50	1,00	7840	210	1200	
Acero	50	0,75	7840	210	1200	

Todos los tubos elaborados fueron ensayados a compresión diametral (Figura 1), de acuerdo a los procedimientos que establece la norma IRAM 11503 [7] para la determinación de la carga de rotura (F_R). El ensayo de compresión diametral es también denominado de "tres aristas" debido a que el tubo es apoyado sobre dos largueros de caucho rígido y la carga se aplica en el eje generatriz superior, a través de un perfil metálico que la distribuye uniformemente. La carga aplicada debe ser cuasi-estática monótona creciente y para su aplicación se usó una prensa con un sistema hidráulico con capacidad para desarrollar una carga vertical nominal máxima de 140 kN. Los valores de carga máxima se registraron a través de la utilización de una celda de carga digital.

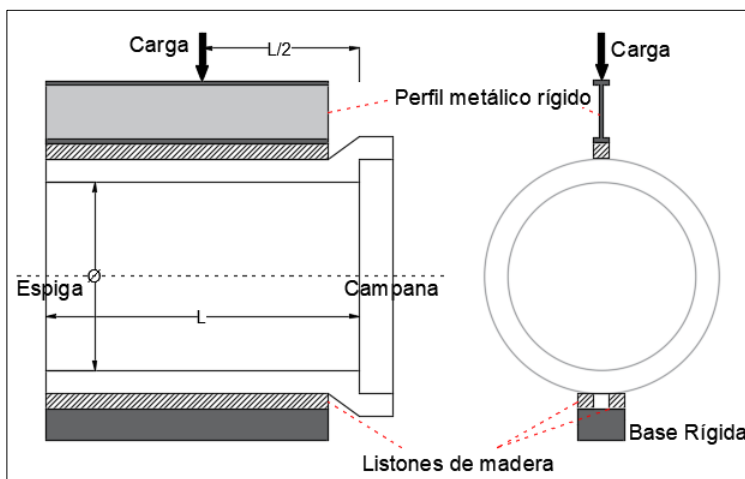


Figura 1 – Esquema de ensayo de compresión diametral de tres aristas.

Resultados

En la Figura 2 se observan las cargas de rotura promedio (F_{RM}) para cada grupo de especímenes. En la misma, se marca con una línea punteada la carga mínima de rotura (45 kN) establecida por la norma IRAM 11503 [7] para la Clase II. En dicha Figura se observa que todos los grupos de THRFH superaron en promedio dicha carga, independientemente del tenor de fibras empleado. Por el contrario, los THRFA registraron una F_{RM} 10,4 % menor a la carga normativa.

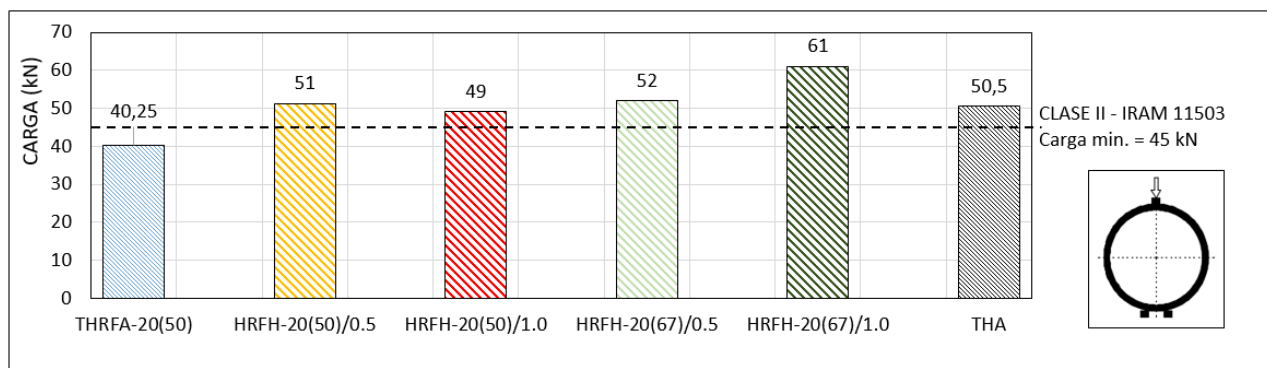


Figura 2 – Cargas de rotura promedio para los diferentes grupos de especímenes.

Los THRFH-20(50)/0.5, los THRFH-20(50)/1.0 y los THRFH-20(67)/0.5 alcanzaron una F_{RM} equivalente a los THA de grupo de control, con diferencias porcentuales muy bajas del orden de 1 %, 3 % y 3 %, respectivamente. Sin embargo, el grupo con mayor contenido de FPP y FA de mayor relación de aspecto (THRFH-20(67)/1.0), superó la F_{RM} promedio del grupo de control THA en 20,8 %.

Basándonos en las cargas de rotura mencionadas, podemos observar que la resistencia a la rotura de los tubos se incrementó significativamente con la utilización de la combinación de fibras como refuerzo, en comparación con aquellos especímenes reforzados solamente con las FA. Las fibras, en general, forman una red tridimensional en la masa del hormigón que le impide segregarse y fluir, por lo cual, la adición de un pequeño porcentaje de FPP le otorga mayor cohesión a la mezcla. Sin embargo, superado cierto volumen límite de fibras, la mayor viscosidad de la mezcla traería problemas de compactación que afectarían el comportamiento de la pieza durante el ensayo. Lo anterior, explicaría la leve reducción en la carga de rotura promedio en los THRFH-20(50)/1.0 respecto de los THRFH-20(50)/0.5. Sin embargo, el uso de fibras de menor relación de aspecto que son más flexibles y con mayor eficiencia, según lo demostrado por otros autores [8, 9], combinada con un mayor contenido de FPP genera una sinergia que aumenta significativamente la carga máxima de los tubos. Esto se puede apreciar en la diferencia entre la F_{RM} registrada para el grupo de THRFH-20(67)/1.0 y los demás grupos de THRFH.

Otra observación que se realizó durante la ejecución de los ensayos fue el modo de falla de los tubos. Los THRFH, sin importar la dosis de fibras empleada o la relación de aspecto de las fibras de acero, rompieron sin desprendimiento de hormigón ni aplastamiento diametral. Se generaron cuatro fisuras principales, diametralmente opuestas entre ellas. Este tipo de rotura es típico de los tubos ensayados por compresión diametral y es compatible con una falla por flexión. Por el contrario, en los THA se observó desprendimiento de hormigón, aun antes de alcanzar la carga máxima o de rotura.

Conclusiones

En este trabajo se evaluó la capacidad de carga de THRFH a través del ensayo de compresión diametral de tres aristas, y los resultados fueron comparados con los obtenidos para THA y THRFA. Del análisis basado en los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente: i) La adición de FPP para formar un refuerzo de fibras híbridas en el hormigón, produjo un incremento en la carga de rotura promedio de los tubos, en comparación con los reforzados solamente con FA; ii) El aumento en el volumen de FPP en los THRFH produjo una leve disminución de la capacidad de carga cuando se emplearon FA con relación de aspecto igual a 50; iii) Se produjo una sinergia importante entre las fibras cuando se empleó FA con mayor relación de aspecto y mayor volumen de FPP en el refuerzo híbrido, incrementando de manera significativa la capacidad de carga de los THRFH; iv) Los THRFH alcanzaron una carga de rotura promedio equivalente a la de los THA Clase II;

Referencias

- [1] Zhang, T., & Pan, D., "Mechanical properties of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete in building structure: steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete in building structure", *Stavební obzor-Civil Engineering Journal*, Vol. 30, N°2, (2021).
- [2] Li, Z. X., Li, C. H., Shi, Y. D., & Zhou, X. J., "Experimental investigation on mechanical properties of Hybrid Fibre Reinforced Concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 157, (2017), 930-942.
- [3] Pakravan, H. R., Latifi, M., & Jamshidi, M., "Hybrid short fiber reinforcement system in concrete: A review", *Construction and building materials*, Vol. 142, (2017), 280-294.
- [4] Caggiano, A., Gambarelli, S., Martinelli, E., Nisticò, N., & Pepe, M., "Experimental characterization of the post-cracking response in hybrid steel/polypropylene fiber-reinforced concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 125, (2016), 1035-1043.
- [5] Singh, N. K., & Rai, B., "A review of fiber synergy in hybrid fiber reinforced concrete", *Journal of Applied Engineering Sciences*, Vol. 8, N° 2, (2018), 41-50.
- [6] Lee, S., Park, Y., & Abolmaali, A., "Investigation of flexural toughness for steel-and-synthetic-fiber-reinforced concrete pipes", *Structures*, Vol. 19, (2019), 203-211.
- [7] IRAM-11503. Caños de hormigón armado no pretensado. Destinados a la conducción de líquidos sin presión IRAM-Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 1986.
- [8] Haktanir, T., Ari, K., Altun, F., & Karahan, O., "A comparative experimental investigation of concrete, reinforced-concrete and steel-fibre concrete pipes under three-edge-bearing test", *Construction and Building Materials*, Vol. 21, N° 8, (2007), 1702-1708.
- [9] Mohamed, N., Soliman, A. M., & Nehdi, M. L., "Mechanical performance of full-scale precast steel fibre-reinforced concrete pipes", *Engineering Structures*, Vol. 84, (2015), 287-299.