

Experimental Evaluation of Square Ferrocement Panels using Polypropylene Wire Mesh

Evaluación experimental de paneles de ferrocemento cuadrados utilizando malla de polipropileno

N. Khurram^{1*}, U. Akmal*, M. Raza*, A. Hameed*, M. Irfan ul Hassan*

* University of Engineering and Technology Lahore – Lahore, PAKISTAN

Fecha de Recepción: 30/04/2020

Fecha de Aceptación: 14/06/2020

PAG 336-345

Abstract

Ferrocement panels are thin section comprised of hydraulic mortar reinforced with steel wire mesh, and are susceptible to micro cracks at service conditions. The moisture and rainwater may infiltrate through these cracks and cause the reduction in capacity due to the corrosion of steel wire mesh. In the present study, a polypropylene (PP) wire mesh has been used to overcome this problem. The main objective of the study is to investigate the punching shear and bending capacity of the ferrocement panels using PP wire mesh. Experimental tests conducted on 32 simply supported square slabs panels of 450x450 mm subjected to concentrated load for punching shear and four-point loading to investigate the bending capacity. The test variables were the number PP layers (volume fraction ratio) and slab thickness i.e., 20, 30 and 40 mm. Test results showed that punching capacity improved by increasing both the number of PP layers and panel thickness. However, bending strength the function of tension membrane action provided by exterior PP layers. Moreover, panels with 20 mm thickness are to flimsy and do not show sufficient capacity. In general, PP wire mesh provide adequate resistance against punching and bending for slab thickness 30mm and 40mm, and can be used as replacement of conventional steel wire mesh.

Keywords: Polypropylene wire mesh; ferrocement panel; punching shear strength; bending strength

Resumen

Los paneles de ferrocemento están constituidos por una sección delgada de mortero hidráulico reforzado con malla de alambre de acero y están expuestos a que se produzcan microgrietas en condiciones de servicio. La humedad y el agua de lluvia pueden infiltrarse a través de estas grietas y provocar una reducción en su capacidad debido a la corrosión de la malla de alambre de acero. En el presente estudio, se ha utilizado una malla de polipropileno (PP) para superar este problema. El objetivo principal del presente estudio es investigar la capacidad de punzonado y flexión de los paneles de ferrocemento utilizando malla de PP. Se realizaron ensayos experimentales en 32 paneles de losas cuadradas de 450x450 mm con apoyo simple sometidos a carga concentrada por punzonamiento y carga de cuatro puntos para investigar su capacidad de flexión. Las variables experimentales fueron el número de capas de PP (fracción de volumen) y el espesor de la losa, de 20, 30 y 40 mm. Los resultados de las pruebas mostraron que la resistencia a la perforación mejoró al aumentar tanto el número de capas de PP como el grosor del panel. Sin embargo, la resistencia a la flexión es función de la acción de la membrana de tensión proporcionada por las capas exteriores de PP. Además, los paneles con un espesor de 20 mm son demasiado endebles y no muestran una resistencia suficiente. En general, la malla de PP proporciona una resistencia adecuada contra perforaciones y flexiones para losas de 30 mm y 40 mm de espesor, y se puede utilizar como reemplazo de la malla de alambre de acero convencional.

Palabras clave: Malla de polipropileno; panel de ferrocemento; resistencia al punzamiento; resistencia a la flexión

1. Introducción

El ferrocemento es concreto reforzado de pared delgada, compuesto por capas de malla de alambre delgada y continua de alambre en espaciamiento estrecho que se riegan con mortero de cemento hidráulico. La malla de refuerzo puede ser metálica o de cualquier otro material adecuado. La tecnología de ferrocemento ofrece una construcción liviana, barata y rápida, lo que la hace más popular que la construcción tradicional en hormigón armado para viviendas de bajo costo. De igual manera, sin embargo, es de suma importancia que la construcción en ferrocemento también cumpla la función deseada de resistencia y capacidad de servicio (Akhter et al., 2009). La disponibilidad de materiales y el que para su empleo solo se requieran conocimientos técnicos de bajo nivel han hecho que el ferrocemento tenga un gran potencial de contrataciones en los países en desarrollo (ACI,1997). Los materiales de ferrocemento suelen ser delgados y livianos, pero son igualmente fuertes y estéticos, proporcionando una amplia gama de soluciones de construcción, especialmente para sistemas de techumbre y construcción de muros (Pushyamitra, 2011); (Abdullah y Takiguchi, 2003).

¹ Autor de correspondencia:

University of Engineering and Technology Lahore – Lahore,
PAKISTAN

E-mail: nauman@uet.edu.pk



Debido a la naturaleza delgada de los paneles y losas de ferrocemento, siempre son susceptibles de agrietarse en su superficie exterior. Sin embargo, los espesores de las fisuras en el ferrocemento son normalmente uno o dos órdenes de magnitud menores en comparación con los elementos constructivos tradicionales en hormigón armado (Naaman, 2000); (Arif y col., 1999). El ancho de estas grietas se estabiliza y controla mediante la acción conjunta que proporcionan las capas de malla. Aunque, estas microfisuras no afectan la resistencia general, pueden plantear problemas de durabilidad para los paneles de ferrocemento. En un ambiente húmedo y lluvioso, el agua puede filtrarse a través de estas grietas y puede iniciar la corrosión en la malla de acero de refuerzo, lo que posteriormente puede comprometer el desempeño de la construcción de ferrocemento. Los investigadores están utilizando varias técnicas para controlar este fenómeno, ya sea utilizando mallas de alambre resistentes a la corrosión o reduciendo las grietas en la matriz. Para mejorar las propiedades del mortero de cemento se han utilizado diversos tipos de fibras confeccionadas en acero, carbono, vidrio y polipropileno y los resultados indican que el agrietamiento se puede reducir considerablemente incorporando fibras en la matriz (Patil y Prakash, 2009); (Sikdar et al., 2005).

(Sakthivel y Jagannathan, 2012) investigaron experimentalmente la capacidad de flexión de losas de ferrocemento reforzadas con malla de acero revestida en PVC y compararon los resultados con losas que utilizan malla de acero convencional galvanizado, variando el número de capas. Hallaron que la capacidad de flexión de las losas con malla recubierta de PVC es del 90% de la de las muestras reforzadas con malla recubierta de acero galvanizado y, por lo tanto, la malla recubierta de PVC se puede utilizar eficazmente en las losas de ferrocemento, como refuerzo no corrosivo. Además, se ha observado también que al usar mallas con aperturas más pequeñas se producen anchos de fisura menores, lo que permite un uso más eficiente como armado de alta resistencia (Naaman, 2000).

La inclusión de fibras en la mezcla de mortero y el uso de mallas galvanizadas o recubiertas de PVC podría aumentar el costo de construcción del ferrocemento. Alternativamente, el uso de un material no corrosivo como el polipropileno (PP) podría ofrecer una solución más barata. En un estudio reciente (Mughal et al., 2019), se ha utilizado malla de PP en paneles de losas de ferrocemento de gran luz para evaluar su rendimiento en cuanto a flexión y carga axial. El estudio concluyó que la malla de PP mejora la capacidad de carga y la ductilidad. La naturaleza dúctil de la malla de PP indujo una gran deflexión en el panel de ferrocemento alargado, lo que se puede controlar mediante el uso de un panel de losa cuadrado. Además, es necesario evaluar también el desempeño del panel de ferrocemento con malla de PP ante cargas de perforación. El objetivo general de este estudio es investigar el comportamiento de los paneles de ferrocemento cuadrados frente al corte por punzonado y la carga de flexión variando el número de capas de malla de PP.

2. Materiales and Metodos

2.1 Materiales

En términos generales, se utilizó un cemento Portland ordinario (CPO) fabricado localmente, que cumple con el tipo 1 de (ASTM, 2004), como agente aglutinante en paneles de ferrocemento. En cuanto a agregados finos, se usó una mezcla pareja de arenas disponibles localmente, arena Chenab (50%) y arena Lawrencepur (50%) en el mortero. La mezcla de arena tenía el valor del Módulo de Finura de 3.52 y su curva de gradación se muestra en la (Figura 1). Con el fin de lograr la resistencia planteada como objetivo de 50 MPa, se adoptó el diseño de la mezcla como se indica en la (Ecuación 1), tal como se utilizó en estudios similares anteriores (Sakthivel y Jagannathan, 2012). En la (Ecuación 1), C, AF y A representan el cemento, los agregados finos y el contenido de agua, respectivamente.

$$C : FA : W = 1 : 2 : 0.45 \quad (1)$$

2.2 Malla de polipropileno

Se utilizó malla cuadrada de PP disponible localmente como refuerzo en los paneles de ferrocemento, tal como se muestra en la (Figura 2). Las propiedades de la malla de PP se entregan en la (Tabla 1). Para determinar la resistencia a la tracción del PP, se cortaron hilos de la malla y se realizó una prueba de tensión utilizando una máquina de prueba universal (MPU) de alta precisión y completamente calibrada. En la (Figura 3) se ilustra el hilo de PP cortado de una malla y sujetado con mordazas de la MPU. La curva de desplazamiento de carga obtenida de la prueba de tensión se muestra en la (Figura 4).



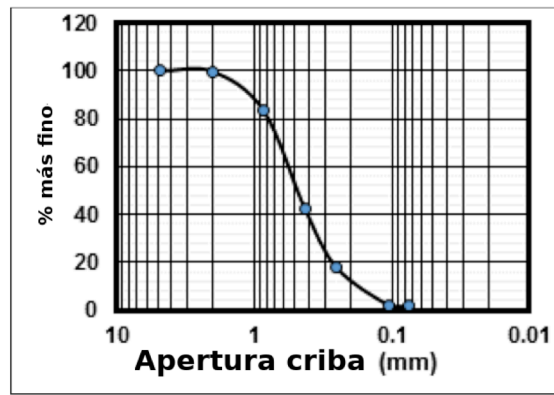


Figura 1. Curva de gradación del agregado fino

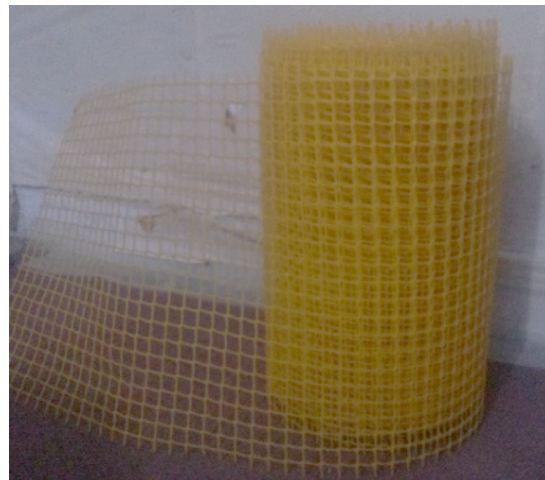


Figure 2. Malla de polipropileno

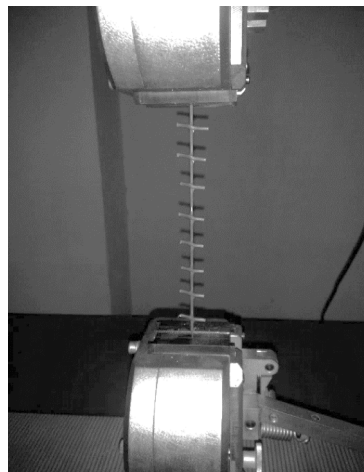


Figure 3. Hilo de polipropileno en MPU para prueba de tensión



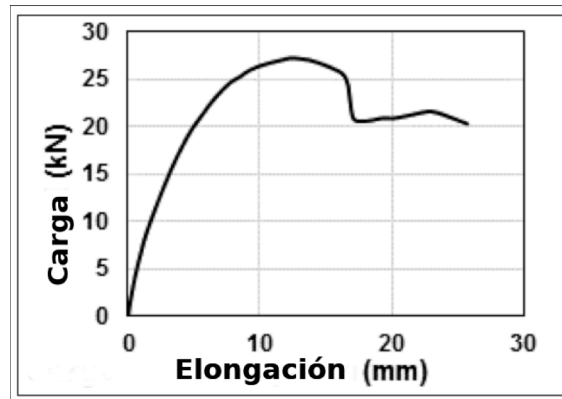


Figure 4. Curva de carga vs. elongación del hilo de polipropileno

Table 1. Propiedades del polipropileno

Propiedades	Valores
Área de sección x promedio	2.71 mm ²
Tamaño medio de apertura	13.8 mm x 13.8 mm
Carga máxima	27.22 kN
Resistencia a la tracción	10 MPa

2.3 Matriz de muestras

En total, se regaron 32 paneles de losas de ferrocemento, 16 para cada prueba de doblado y punzonado. Se seleccionaron tres espesores de panel diferentes, de 20, 30 y 40 mm. Ya los estudios previos sobre la resistencia al corte por punzonado de paneles de ferrocemento, al usar malla de alambre de acero, han indicado que la carga de corte por punzonado disminuye a medida que aumenta el espacio efectivo (Mansur et al., 2001). Es por ello que para todos los espesores se optó por un panel de losa corta y cuadrada de 450x450mm. La descripción de todas las muestras con sus espesores, número de capas de malla de refuerzo de PP y su correspondiente fracción de volumen se da en la (Tabla 2). La fracción de volumen de refuerzo es la razón del volumen de refuerzo al volumen de compuesto. La fracción de volumen se calcula dividiendo el volumen de la malla de refuerzo por el volumen de mortero (del panel de losa). Una muestra típica en la (Tabla 2) se describe como P20-2, donde "P" representa la condición de prueba de perforación, 20 significa que el espesor del panel de la losa es de 20 mm y el sufijo 2 indica el número de capas de malla de refuerzo. Del mismo modo, un caso B30-4, ilustra la muestra de 30 mm de espesor con 4 capas de malla de PP para la prueba de flexión (B). Para evitar la congestión, el número de capas de malla se limitó a tres para paneles de 20 mm de espesor, mientras que, para otras muestras, se consideraron un máximo de 4 capas para el programa experimental.

2.4 Moldeado de muestras

La dosificación de mortero para ferrocemento se realizó según la proporción de mezcla ya mencionada en la (Ecuación 1). Se diseñó un encofrado de madera especial para alcanzar el tamaño y el espesor requeridos de las muestras. Todas las capas de malla de refuerzo están espaciadas de manera pareja dentro del espesor especificado del panel manteniendo una cubierta libre de 3 mm en todas las muestras. Se utilizaron varillas de acero de 5 mm de diámetro y espaciadores para formar el esqueleto de las capas de malla de refuerzo. Dado que el acero esquelético se coloca a lo largo de los bordes y en el centro del espesor (superficie neutra), se ignora su contribución a la flexión y al corte por punzonado, ya que el acero esquelético solo influye en la resistencia axial. Por el mismo motivo, el volumen de acero esquelético se ignoró también al calcular la relación de fracción de volumen. Se realizó capa por capa el regado de las muestras, las cuales se vibraron después de verter el mortero en cada capa de malla. En la (Figura 5) se ve la muestra durante y después de completar el regado. El encofrado se



abrió a las 24 horas y los ejemplares se curaron con sacos de yute húmedo durante 28 días. De cada lote mezclado, también se moldearon dos cubos de 50 mm de tamaño para la determinación de la resistencia a la compresión. El valor promedio para el mortero de todos los lotes después de 28 días fue de 54 MPa.

3. Configuración de pruebas

Para la prueba de corte por punzonado, se diseñó un marco de acero especial de 25 mm de espesor para sostener el panel de ferrocemento a lo largo de su periferia. Se indujo el punzonado en el centro del panel utilizando un émbolo de acero de tamaño 100x100 mm. Con el fin de producir un momento flector puro, se utilizó una disposición de carga de cuatro puntos en la prueba de flexión. Para ello se utilizaron dos placas de acero como soportes de borde y dos pasadores de acero para inducir el momento flector puro en los paneles de losa.

Tabla 2. Descripción de las muestras

Grosor (mm)	No. De capas de la malla	Proporción de fracción de volumen, V_f (%)	Nomenclatura de la muestra	
			Prueba de punzado	Prueba de flexión
20	2	3.5	P20-2	B20-2
	3	5.2	P20-3	B20-3
30	2	2.3	P30-2	B30-2
	3	3.5	P30-3	B30-3
	4	4.6	P30-4	B30-4
40	2	1.7	P40-2	B40-2
	3	2.6	P40-3	B40-3
	4	3.5	P40-4	B40-4

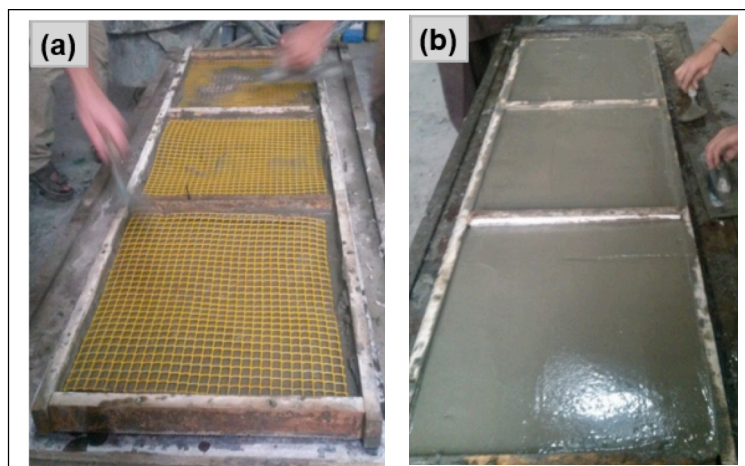


Figura 5. Regado de paneles de fibrocemento: (a) durante el proceso; (b) proceso completado

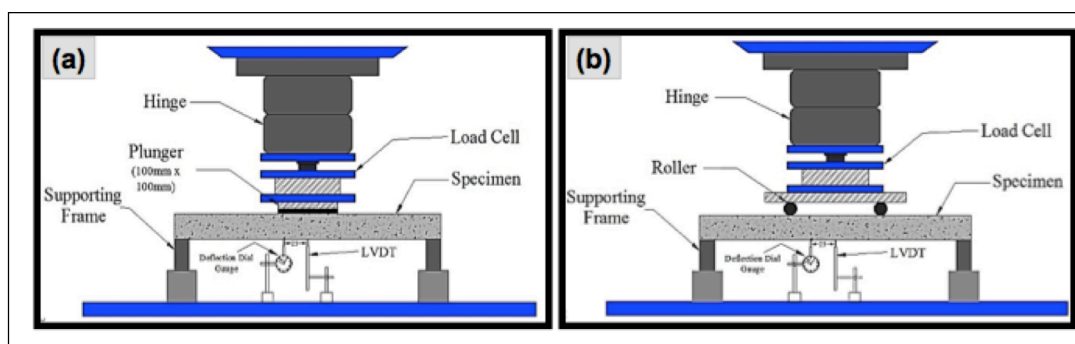


Figura 6. Diagrama esquemático de la configuración de pruebas: (a) ensayo de punzonado; (b) ensayo de flexión



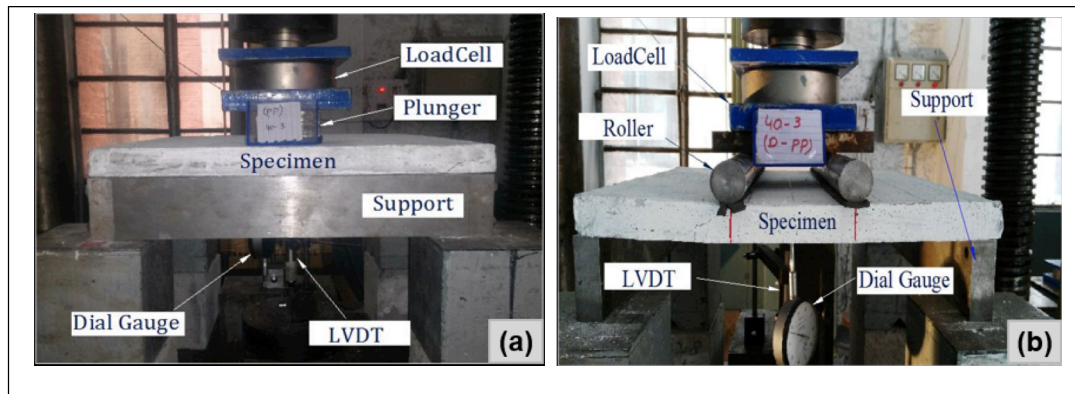


Figura 7. Configuración experimental: (a) ensayo de punzonado; (b) ensayo de flexión

Tanto en la prueba de punzonado como en la de flexión, se aplicó una carga de desplazamiento por medio de una MPU de 1000 kN a una tasa de carga de 1 mm / min. La carga aplicada y la deflexión vertical se midieron mediante una celda de carga y un transductor de desplazamiento lineal variable (LVDT) respectivamente, utilizando un sistema de adquisición de datos. Las (Figura 6) y (Figura 7) muestran el diseño y la configuración experimental del conjunto de prueba de punzonado y flexión, respectivamente.

4. Resultados and discusión

4.1 Ensayo de punzonado

Para estudiar el comportamiento de los paneles de ferrocemento frente al punzonado, se trazó la curva de carga-deflexión para todas las muestras como se ve en la (Figura 8), que revela que la resistencia al punzonado aumenta tanto con el número de capas de malla de refuerzo (fracción de volumen) como con el espesor del panel de losa. La (Figura 8 (a)) muestra que un espesor de 20 mm no proporciona ninguna resistencia significativa al punzonado, y solo se observó una carga de 1,53 kN en el caso de 2 capas y de 1,64 kN en el caso de 3 capas. En este caso, la resistencia a la perforación se debe principalmente al mortero y las grietas quebradizas se producen en direcciones transversales antes de que la malla de propileno tome carga alguna. La (Figura 9 (a)) muestra grietas en ambas direcciones transversales para P20-3.

Para los paneles de losa con un espesor de 30 mm, la resistencia al punzonado mejora con el aumento del número de capas de malla como se muestra en la (Figura 8 (b)), además de cambiar también el comportamiento de falla de los paneles de losas. En primer lugar, aparecen fisuras transversales en la zona central de la losa, lo que provoca la pérdida de rigidez por rotura del mortero. Después de que ocurre el agrietamiento en la superficie exterior, la resistencia es aportada por la malla de PP, lo que también cambia el comportamiento de falla de frágil a dúctil. La (Figura 9 (b)), para el caso P30-2, ilustra la transformación de grietas transversales en grietas diagonales tras la fractura del mortero. Se observó que la carga de punzonado final para paneles de 30 mm de espesor fue de 4,24 kN, 5,71 kN y 5,95 kN para 2 capas, 3 capas y 4 capas, respectivamente.

La (Figura 8 (c)) indica que para el panel de losa de 40 mm, la capacidad máxima mejora sustancialmente con el aumento en el número de capas de malla en comparación con los paneles de 20 mm y 30 mm de espesor. En el panel de 40 mm de espesor, la resistencia máxima se detectó como 5,68 kN, 5,71 kN y 8,31 kN para 2 capas, 3 capas y 4 capas, respectivamente. También se observó que para un panel de ferrocemento de mayor espesor, el comportamiento de falla cambió completamente a dúctil sin fisuras transversales. Un modo de falla típico para P40-20 que se muestra en la (Figura 9 (c)) indica un agrietamiento en forma de mancha en dirección diagonal sin ningún agrietamiento transversal.

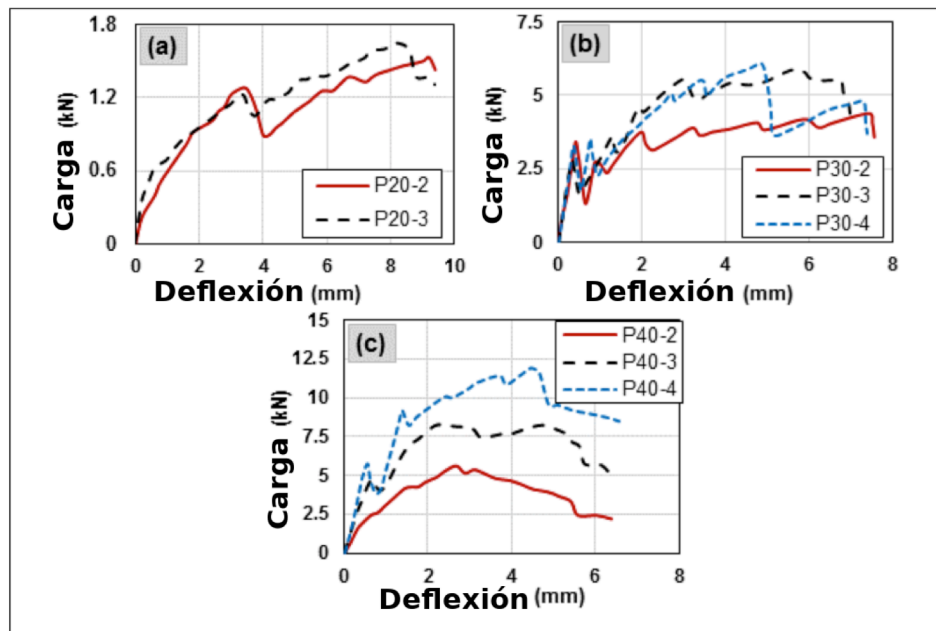


Figura 8. Carga vs. deflexión para ensayo de punzonado: (a) espesor 20 mm, (b) espesor 40 mm, (c) espesor 60 mm

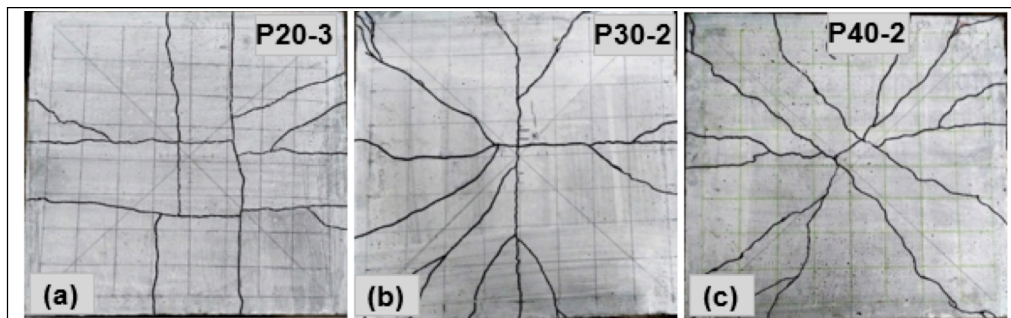


Figura 9. Grietas en la cara inferior para ensayo de punzonado: (a) grietas transversales, (b) grietas mixtas transversales y diagonales, (c) grietas diagonales en forma de mancha

4.2 Ensayo de flexión

Para probar el comportamiento de flexión, se consideró la carga de cuatro puntos y se midió la deflexión vertical en el centro de la cara inferior de los paneles de ferrocemento. Debido a que la rigidez a la flexión del panel de 20 mm de espesor es muy inferior, se observó un valor de cargas muy pequeño de 0,7 kN y 0,91 kN para los casos B20-2 y B20-3, respectivamente, como se muestra en la (Figura 10 (a)). La falla se atribuyó a fisuras puras por flexión en la zona central de momento flector puro y se puede ver en la (Figura 11 (a)) para el caso B20-3.

La (Figura 10 (b)) muestra que cuando el espesor del panel aumenta a 30 mm, la resistencia a la flexión también aumenta notablemente en comparación con el caso de 20 mm de espesor. Se debe a una mayor rigidez a la flexión de la sección compuesta y la contribución de la malla de refuerzo a la resistencia a la flexión debido a un mayor brazo de palanca. En ese caso, la carga máxima tomada por estas muestras fue de 5.07 kN, 7.79 kN y 8.34 kN para las muestras B30-2, B30-3 y B30-4, respectivamente. Las muestras B30-2 y B30-3 revelaron grietas de flexión puras paralelas a los pasadores de carga en la parte inferior de la losa, similares a la grieta que se muestra en la (Figura 11 (a)), pero en el caso de B30-4 también aparecieron algunas grietas de cortante menores cerca de los bordes como se muestra en la (Figura 11 (b)).



Las muestras con 4 capas muestran dos picos antes de la carga máxima, el primer pico corresponde a la fractura de la capa de mortero y el segundo se debe a que cede la capa exterior de malla de PP. El modo de falla en paneles de 40 mm de espesor exhibió grietas por corte junto con grietas por flexión como se muestra en la (Figura 11 (c)) para el caso B40-2, lo que indica que un mayor espesor aumenta la rigidez a la flexión y, por lo tanto, mejora la capacidad máxima de los paneles de ferrocemento. La carga máxima tomada por las muestras B40-2, B40-3 y B40-4 fue de 9.02 kN, 10.05 kN y 10.57 kN respectivamente, como puede verse en la (Figura 10 (b)).

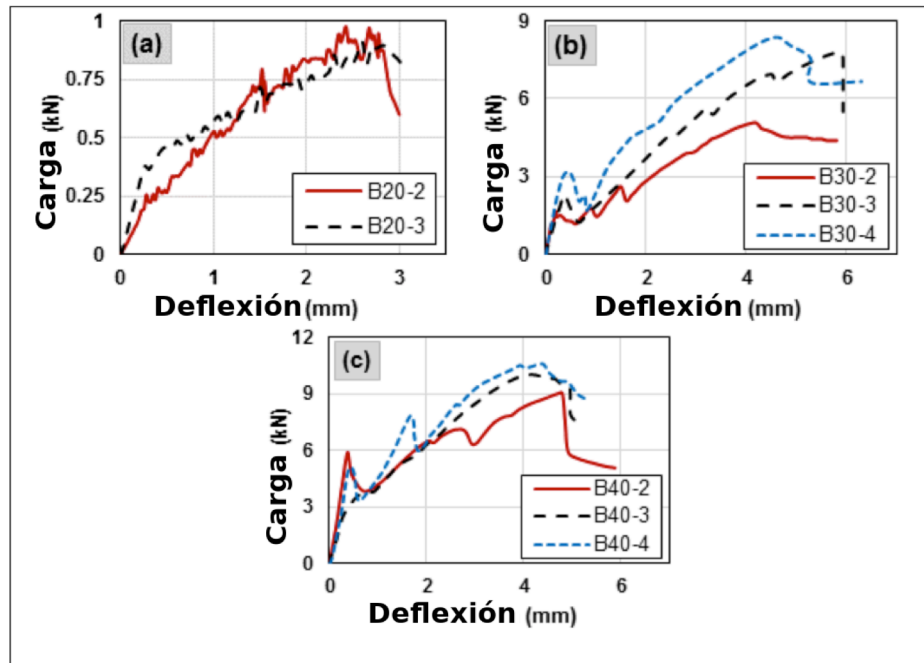


Figura 10. Carga vs. deflexión para ensayo de flexión: (a) espesor 20 mm, (b) espesor 40 mm, (c) espesor 60 mm

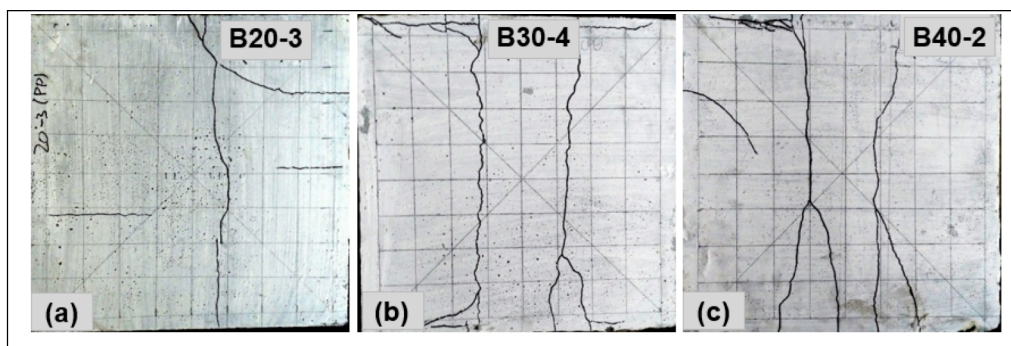


Figura 11. Grietas en la cara inferior para ensayo de flexión: (a) grietas por flexión, (b) grietas por flexión con cizallamiento subordinado, (c) grietas por flexión y cizalla

4.3 Efecto de las capas de PP para la resistencia al punzonado y la flexión

Para estudiar la influencia de las capas de refuerzo de PP en la resistencia máxima, se organizaron los resultados de varias capas de malla en diferentes grupos según espesor como se muestra en la (Figura 12). Los resultados se normalizaron con respecto al número más bajo de capas (es decir, 2 capas) en cada grupo de espesor.

SPANISH VERSION.....

La (Figura 12 (a)) muestra la manera en que el número de capas de malla mejora la resistencia a la flexión en todas las muestras, lo que se debe a la mejor acción de la membrana de tracción proporcionada por las capas de malla de PP. También se observó que cuando el número de capas de PP se aumentó de 3 a 4, no hubo una mejora notable en la resistencia a la flexión. Este comportamiento puede deberse a la naturaleza extraordinariamente dúctil de la malla de PP, ya que sus capas exteriores sufren una gran deformación y la mayor parte del mortero ya se ha agrietado antes de que la malla interior entre en acción. La resistencia a la flexión mejoró en un 15%, 54% y 11% para los casos B20, B30 y B40 cuando se aumentó el número de capas de 2 a 3 capas. Sin embargo, esta mejora fue solo del 9% y del 6% para los casos B30 y B40 cuando el número de capas se incrementó de 3 a 4 capas, lo cual es bastante evidente en la (Figura 12 (b)). Este incremento pequeño significa que la resistencia a la flexión de los elementos de ferrocemento es principalmente una función de la deformación por tracción en la capa extrema de malla (Naaman, 2000).

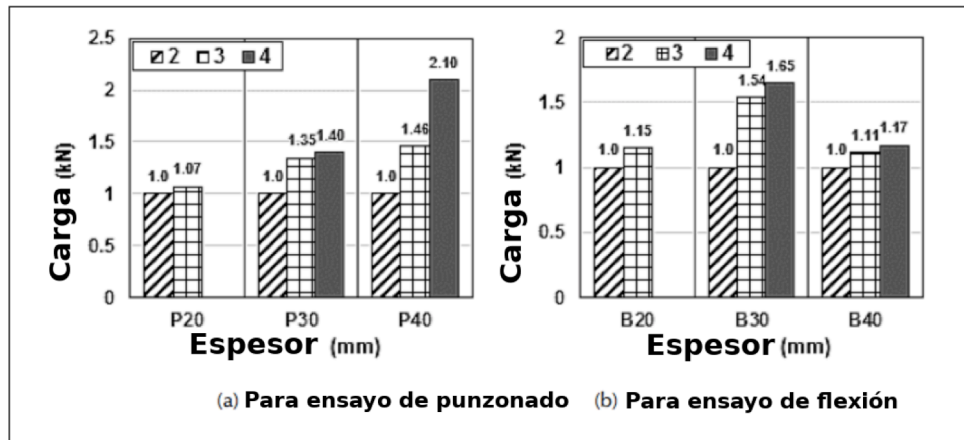


Figura 12. Efecto de las capas de PP

5. Conclusiones

En base a un estudio experimental se establecen las siguientes conclusiones:

- El estudio concluyó que no deben usarse espesores de menos de 30 mm en los paneles de ferrocemento, ya que los paneles con un espesor de 20 mm no se desempeñaron bien y, más que fallar al punzado, fallaron en la flexión. En cambio, para espesores mayores (es decir, 30 mm y 40 mm), los paneles de ferrocemento con malla de PP mostraron una resistencia apreciable tanto en las pruebas de corte por punzonado como en las pruebas de flexión.
- La resistencia al corte por punzado aumenta tanto con el aumento del espesor del panel como con el número de capas de PP y las grietas transversales cambian a grietas en forma de mancha en dirección diagonal, lo que indica una buena característica de absorción de energía de la malla de PP en paneles de ferrocemento.

La capacidad de carga no aumenta significativamente cuando el número de capas de PP aumenta a más de tres, manteniendo el espesor constante. Esto se debe al hecho de que la resistencia a la flexión de los elementos de ferrocemento es principalmente función de la deformación por tracción en la capa de malla extrema.



7. Referencias

- Abdullah, K.; Takiguchi, K. (2003).** An investigation into the behavior and strength of reinforced concrete columns strengthened with ferrocement jackets. *Cement and Concrete Composites*, 25, 233-242.
- ACI (1997).** State-of-the-Art report on ferrocement, ACI 549-R97. Manual of Concrete Practice. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- Akhtar, S.; Arif, M.; Quraishi, M. A. (2009).** Use of chemical corrosion inhibitors for protection of metallic fiber reinforcement in ferrocement composites. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 34 (2C), 105-113.
- Arif, M.; Pankaj; Kuasik, S. K. (1999).** Mechanical behavior of ferrocement composites: An experimental investigation. *Cement and Concrete Composites*, 21(4), 301-312.
- ASTM (2004).** American society for testing and materials. ASTM C150-04. Standard Specifications for Portland Cement, Philadelphia, USA.
- Mansur, M. A.; Ahmed, I.; Paramasivam, P. (2001).** Punching shear strength of simply supported ferrocement slabs. *Journals of Materials in Civil Engineering*, 13(6), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2001\)13:6\(418\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2001)13:6(418))
- Mughal, U. A.; Saleem, M. A.; Abbas S. (2019).** Comparative study of ferrocement panels reinforced with galvanized iron and polypropylene meshes. *Construction and Building Materials*, 210, 40-47.
- Naaman, A. E. (2000).** Ferrocement and laminated cementitious composites. Techno Press, 3000, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Patil, N. K.; Prakash, K. B. (2009).** An experimental investigation on effect of alternate wetting and drying on impact strength of fibrous ferrocement using round steel fibers, (available online) www.nbmcw.com/articles/miscellaneous/others/2009.
- Pushyamitra, D. (2011).** Use of ferrocement in construction industry. Proceedings of the National Conference on Ferrocement, FS-2011, Pune, India. 30-37.
- Sakthivel, P. B.; Jagannathan, A. (2012).** Study on flexural behaviour of ferrocement slabs reinforced with PVC-coated weld mesh. *International Journal of Engineering Research and Development*. 1(12), 50-57.
- Sikdar, P.K.; Gupta; Saroj; Satander, K. (2005).** Application of Fiber as Secondary Reinforcement in Concrete. *Civil Engineering and Construction Review*, December issue, 32-35.

