

Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto reforzados con mallas de metal expandido

Compressive strength of cylindrical concrete specimens reinforced with expanded metal meshes

Orlando Giraldo-Bolívar ^{1a}, Luis Lara-Valencia ^{1b}, Carlos Graciano ^{1c}

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Orcid: 0000-0003-0697-0027 ^a, 0000-0002-2718-6234 ^b, 0000-0003-0659-7963 ^c. Correos electrónicos: ogiraldo@unal.edu.co ^a, lualarava@unal.edu.co ^b, cagracionog@unal.edu.co ^c

Recibido: 22 septiembre, 2022. Aceptado: 8 agosto, 2023. Versión final: 20 septiembre, 2023.

Resumen

Este trabajo presenta un estudio experimental sobre la resistencia a la compresión de cilindros de concreto reforzados con mallas de metal expandido. La investigación tiene como objetivo comparar la resistencia a la compresión de especímenes de concreto reforzados con mallas metálicas expandidas con diferentes orientaciones. Se realizaron una serie de pruebas de compresión para obtener el rendimiento estructural en muestras encamisadas, y luego compararlas con los cilindros de concreto no reforzado. Los tubos metálicos expandidos se fabricaron utilizando geometrías circulares con dos orientaciones de celda. Los resultados mostraron que la orientación de la malla mejora la resistencia a compresión de los especímenes.

Palabras clave: resistencia a compresión; concreto; metal expandido; ferrocemento; reforzamiento; mallas metálicas; propiedades mecánicas; construcción; cemento.

Abstract

This paper presents an experimental study on the compressive strength of concrete cylinders reinforced with expanded metal meshes. The investigation aims at comparing the compressive strength of concrete specimens strengthened with expanded metal meshes with different orientations. A series of compression tests were performed to obtain the structural performance on jacketed specimens, and then compare these with the unreinforced concrete cylinders. Expanded metal tubes were fabricated using circular geometries with two cell orientations. The results showed that cell orientation enhance the compressive strength of the specimens.

Keywords: compressive strength; concrete; expanded metal; ferrocement; strengthening; metal meshes; mechanical properties; construction; cement.

1. Introducción

El uso de mallas metálicas como refuerzo en los materiales de construcción es una técnica bien conocida

y definida con el nombre de ferrocemento. Este es un material compuesto que consiste de mortero de cemento con capas de malla de acero simples o múltiples estrechamente espaciadas con o sin soporte de acero

esquelético [1], [2], [3]. Este sistema de refuerzo es particularmente interesante en países en vías de desarrollo donde se necesita un sistema de refuerzo asequible basado en espátula [4].

La reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes se han convertido en unas de las actividades de construcción más importantes a nivel mundial. En este contexto, el uso de mallas de refuerzo es una de las técnicas de reparación rápida, es popular y que ha demostrado ser eficiente en la restauración de las capacidades originales del concreto deteriorado [5], [6], [7], [8].

En el pasado, varios tipos de mallas metálicas han sido utilizadas para el reforzamiento y confinamiento de estructuras de concreto. Ebead [4] realizó un estudio experimental utilizando vigas reforzadas con mallas de metal expandido sometidas a flexión. Kaish et al. [9] realizaron un estudio experimental en elementos cilíndricos de concreto, confinados con ferrocemento, sometidos a compresión axial. En el ferrocemento se utilizaron mallas electrosoldadas. El-Kholy y Dahish [10] estudiaron el efecto del confinamiento de mallas de metal expandido en columnas reforzadas de forma tradicional con estribos de acero. Shan et al. [11] investigaron experimentalmente el efecto de camisas de ferrocemento fabricadas con aros en espiral de acero de alta resistencia sobre la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

El-Kholy et al. [12] llevaron a cabo un estudio experimental sobre la efectividad del confinamiento de mallas de metal expandido en la resistencia a compresión de columnas bajo condiciones normales y sometidas a fuego. Los resultados se compararon a los obtenidos con mallas electrosoldadas. Krishnapriya et al. [13] investigaron el comportamiento de columnas reforzadas con mallas de metal expandido de varios tamaños. Shaaban et al. [14] realizaron un estudio comparativo de la respuesta a flexión de vigas reforzadas con tres tipos de mallas (malla de metal expandido, malla electrosoldada y malla de fibra de vidrio). Tanto las mallas electrosoldadas como las mallas de metal expandido han sido utilizadas como refuerzos en muros de mampostería estructural [15], [16], [17], [18], [19].

El-Sayed et al. investigó el comportamiento de tubos de agua [20] y tanques [21] de ferrocemento reforzados con mallas de metal expandido. Con el objetivo de reducir la huella de carbono en la construcción, fibras de acero y residuos del procesamiento del acero han sido utilizados como agregado y como materia prima del cemento [22], [23], [24].

En este trabajo se lleva a cabo un estudio experimental sobre la resistencia a compresión de cilindros de concreto reforzados con mallas de metal expandido. En el estudio, se analiza el efecto de la orientación de las mallas, así como el uso de plastificantes en el concreto.

2. Estudio experimental

2.1. Preparación de las mallas de metal expandido

En la Figura 1 se muestra la nomenclatura utilizada en las celdas de mallas de metal expandido. Estas celdas se caracterizan por dos ejes, uno mayor L_1 y otro perpendicular a este llamado eje menor L_2 . Los otros dos parámetros definen el ancho de la vena w , y el espesor de la misma t .

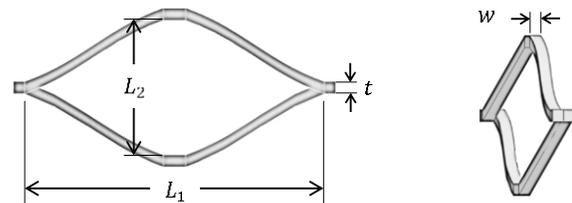


Figura 1. Representación esquemática de una celda de metal expandido. Fuente: elaboración propia.

En este trabajo se utilizó una malla comercial EXR 75 HR Cal (2.5) v(4.5) con las siguientes dimensiones $L_1=64.5$ mm, $L_2=35.5$ mm, $w=4.5$ mm y $t=2.5$ mm. En general las mallas se fabrican con aceros de bajo carbono [25]. De acuerdo a datos suministrados por el fabricante, el material de la malla es un acero AISI/SAE J403 1006 con un límite elástico de 285 MPa y una resistencia máxima a tensión de 330 MPa.

Graciano et al. [26] estudiaron de forma experimental el comportamiento de tubos fabricados con mallas de metal expandido sometidos a compresión axial. Los resultados de este estudio demostraron que la resistencia a compresión aumentaba considerablemente cuando las celdas de metal expandido se orientaban $\alpha=60^\circ$ y $\alpha=90^\circ$, tal como se muestra en la Figura 2.

Con base en los resultados obtenidos por Graciano et al. [26] estas dos orientaciones se utilizarán para reforzar los cilindros de concreto. En primer lugar, las mallas de metal expandido fueron cortadas y enrolladas para obtener la forma cilíndrica y posteriormente fueron soldadas. Las Figuras 3 y 4 muestran las mallas de refuerzo con las celdas orientadas a 60° y 90° , respectivamente.

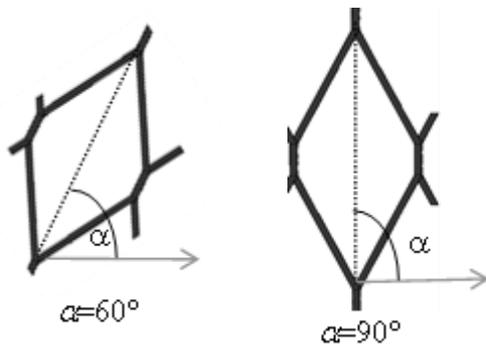


Figura 2. Orientación de las celdas de metal expandido.
 Fuente: elaboración propia.

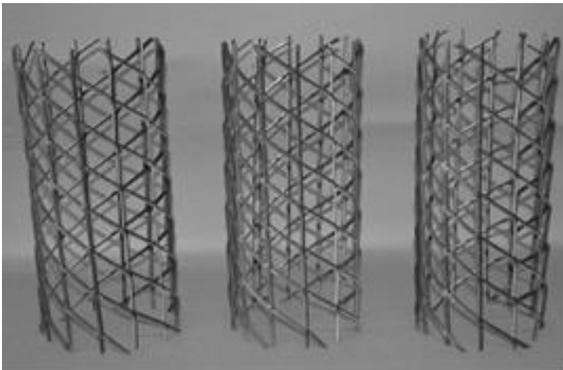


Figura 3. Mallas de metal expandido con celdas orientadas a 60°. Fuente: elaboración propia.

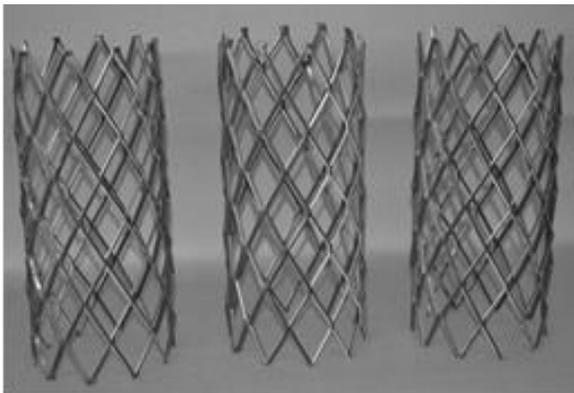


Figura 4. Mallas de metal expandido con celdas orientadas a 90°. Fuente: elaboración propia.

En la [Tabla 1](#) se muestra el peso de las mallas de refuerzo W_s , y las dimensiones longitud L_s y diámetro externo D_s . A pesar de la diferencia en la orientación de las celdas, todas las mallas tienen un peso similar.

Tabla 1. Dimensiones de las mallas de metal expandido

Specimen	W_s (g)	L_s (cm)	D_s (cm)
M1-CA60	516.5	30.5	13.40
M3-CA60	508.5	30.1	13.40
M1-SA90	509.0	30.2	13.60
M2-SA90	516.7	30.5	13.30
M3-SA90	515.8	30.1	13.40
M1-CA90	551.4	30.0	14.10
M2-CA90	527.6	30.4	13.70
M3-CA90	527.6	30.4	13.70

Fuente: elaboración propia.

2.2. Dosificación de la mezcla

Utilizando el Método de Dosificación de mezclas ACI 211.1 [27] se realizó la composición de un concreto para una resistencia $f'_c = 28$ MPa y un asentamiento de 75mm. Los resultados indican que con los materiales utilizados y el método de dosificación empleado se logra el cumplimiento de los requisitos especificados con una resistencia obtenida de $f'_c = 36$ MPa, un asentamiento de 80 mm y una masa unitaria de 2416 kg/m³. La combinación de agregados obtenida se ajusta perfectamente a la fórmula granulométrica de Fuller Thompson con un 45% de agregados finos y un 55% de agregados gruesos. El contenido en volumen absoluto de la pasta cementante es de 0.384 m³.

En las [Figuras 5](#) y [6](#) se muestra la representación gráfica de la distribución del tamaño de partícula de los agregados empleados en las mezclas. De acuerdo con Conasfaltos, empresa productora de los materiales empleados en las mezclas de concreto, el agregado fino es una arena gruesa con un módulo de finura constante por su baja absorción y alta trituración. Además, los agregados gruesos son tipo angular que se caracterizan por tener una alta fracturación, homogeneidad, dureza y resistencia a la abrasión, lo que los hace ideales para concretos de alta calidad [28]. Las [Figuras 5](#) y [6](#) muestran adicionalmente que los agregados seleccionados se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas correspondientes. Adicionalmente, en las [Tablas 2](#) y [3](#) se muestran las propiedades de los agregados finos y gruesos, respectivamente.

El cemento usado es de la marca Argos de Uso General (UG), con las propiedades mostradas en la [Tabla 4](#).

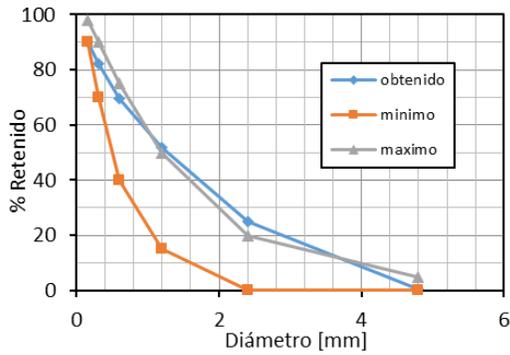


Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino.
Fuente: elaboración propia.

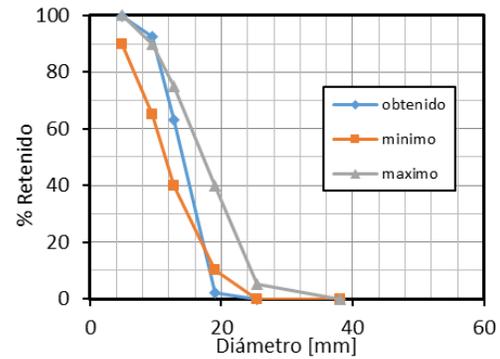


Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Propiedades del agregado fino

Propiedad	Norma ASTM	Resultado
Impurezas orgánicas	C40/C40M-16	1
% partículas finas	C117-17	5.18
Módulo de finura.	C136/C136M-14	3.19
Densidad en bruto seca (Mg/m^3)	C127-15	2.734
Humedad-Absorción (%)	C127-15	0.89

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Propiedades del agregado grueso

Propiedad	Norma ASTM	Resultado
Impurezas orgánicas	C33/C33M-16e1	25.4
% partículas finas	C136/C136M-14	6.94
Módulo de finura.	C29/C29M-17a	1.59
Densidad en bruto seca (Mg/m^3)	C127-15	2.767
Humedad-Absorción (%)	C127-15	1.24

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Propiedades del cementante Argos UG

Propiedad	Norma ASTM	Resultado
Fraguado inicial (min)	C191-13	145
Fraguado final (min)	C191-13	420
Expansión autoclave (%)	C151/C151M-16	0.03
Superficie específica Blaine (m^2/kg)	C204-16	384
Resistencia a 3 días (MPa)	C109/C109M-16a	9.0
Resistencia a 7 días (MPa)	C109/C109M-16a	16.0
Resistencia a 28 días (MPa)	C109/C109M-16a	26.0

Fuente: elaboración propia.

Además, en algunos especímenes se utilizó el aditivo SikaPlast-328, de la empresa Sika que cuenta con las especificaciones presentadas en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Propiedades del aditivo

Propiedad	Norma ASTM	Resultado
Densidad (kg/L)	C494/C494M-17	1.08±0,03
pH	C494/C494M-17	5.0±1.5

Fuente: elaboración propia.

La **Tabla 6** muestran la dosificación final del concreto utilizado en los ensayos.

Tabla 6. Dosificación final para 1 m³ de mezcla

Material	Proveedor	Cantidad
Agua (kg)	-	211
Cemento (kg)	Argos UG	513
Ag. Fino (kg)	Conasfaltos	737
Ag. Grueso (kg)	Conasfaltos	937
Aditivo (kg)	SikaPlast-328	1.03

Fuente: elaboración propia.

Con la dosificación final presentada en la **Tabla 6**, se obtiene un concreto con las propiedades mostradas en la **Tabla 7**. Con los materiales utilizados y el método de los volúmenes absolutos propuesto por el ACI 211.1 [27] se logra la composición apropiada del concreto para cumplir las especificaciones propuestas en el estudio.

Tabla 7. Propiedades obtenidas con la dosificación final

Propiedad	Norma ASTM	Resultado
Densidad (Mg/m ³)	C138/C138M-17 ^a	2416
Aire (%)	C138/C138M-17 ^a	1.5
Asentamiento (mm)	C143/ C143M-15a	75
Resistencia (MPa)	C39/C39M-17b	32

Fuente: elaboración propia.

2.3. Preparación de los cilindros reforzados

Las muestras se fabricaron tomando como referencia los moldes estándar utilizados para las pruebas estándar de resistencia a compresión de cilindros de concreto NTC-673 con dimensiones de 300 mm de altura y 150 mm de diámetro. Una vez las mallas fueron medidas y pesadas se colocaron en los moldes para el vaciado del concreto (**Figura 7**). Inicialmente los moldes de ensayo

se limpiaron y aceitaron para posteriormente instalar la malla que luego es cubierta con el concreto completamente.



Figura 7. Elaboración de los cilindros de concreto reforzados con mallas de metal expandido. Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, se elaboraron patrones para cilindros de concreto sin aditivo (SA) y con aditivo (CA). Luego, se elaboraron los cilindros reforzados con mallas de metal expandido con celdas orientadas a 60° y 90°. Para los cilindros con celdas orientadas a 90° se realizaron ensayos con concreto sin (SA) y con aditivo (CA). Para identificar los especímenes se empleó la siguiente nomenclatura, M1-CA60 es la muestra 1 con concreto con aditivo (CA) reforzado con una malla orientada 60°. La **Tabla 8** muestra las dimensiones y los resultados de los ensayos de compresión en los cilindros de concreto: W_T es el peso total, D_s el diámetro exterior, t_c es el espesor promedio de la capa de concreto, f'_c resistencia a compresión a los 28 días [30], y ϵ_u la deformación última.

Tabla 8. Resultados para los cilindros de concreto sin y con refuerzo de mallas de metal expandido

Espécimen	W_T (g)	D_s (cm)	t_c (mm)	f'_c (MPa)	ϵ_u ($\times 10^{-6}$)
M2SA	1401	15.60	-	45.3	2848
M3SA	1375	15.47	-	45.4	3009
M2CA	1410	15.40	-	46.2	1672
M3CA	1450	15.46	-	44.0	1453
M1-CA60	1447	15.49	10.45	40.9	2877
M3-CA60	1467	15.46	10.30	41.9	2531
M1-SA90	1444	15.58	9.90	39.7	1994
M2-SA90	1460	15.60	11.50	37.9	1644
M3-SA90	1457	15.65	11.25	38.3	1543
M1-CA90	1440	15.46	5.80	39.5	2440
M2-CA90	1444	15.46	6.80	36.0	1603
M3-CA90	1470	15.60	9.50	37.7	1482

Fuente: elaboración propia.

2.4. Montaje experimental

En el montaje experimental en la máquina universal de ensayos (Figura 8) se empleó una celda de carga de 1000 kN, una galga extensométrica en la dirección longitudinal y otra en la dirección radial, así como medidores de desplazamiento LVDT. Debido a limitaciones de ajuste de la máquina universal de ensayos solo se pudieron medir los datos de carga, tensión y deformación hasta la resistencia máxima a compresión de los cilindros de concreto [29]. Los ensayos de compresión se llevaron a cabo usando la norma ASTM C 39/C 39M-05 [31].



Figura 8. Montaje experimental en la máquina universal de ensayos. Fuente: elaboración propia.

3. Análisis de resultados

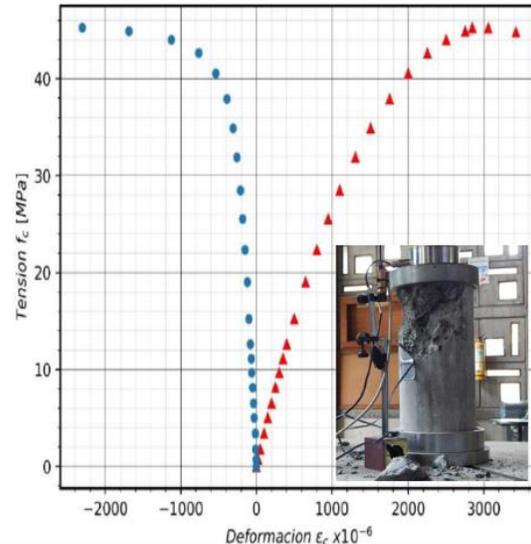
3.1. Probetas patrón sin aditivo y sin malla MSA

Las Figuras 9a y 9b muestran las curvas tensión-deformación longitudinal y transversal para las probetas patrón sin aditivo y sin malla. En estas figuras se muestran las deformaciones longitudinales (en azul) y las deformaciones transversales (en rojo). En los resultados reportados en la Tabla 8, se observa que la resistencia y deformación a compresión para los cilindros M2SA y M3SA fue $f'_c=45.3$ MPa, ($\epsilon_{iu}=2848 \times 10^{-6}$) y $f'_c=45.4$ MPa, ($\epsilon_{iu}=3009 \times 10^{-6}$) respectivamente, las cuales se ajustan bien a los valores obtenidos en otras investigaciones.

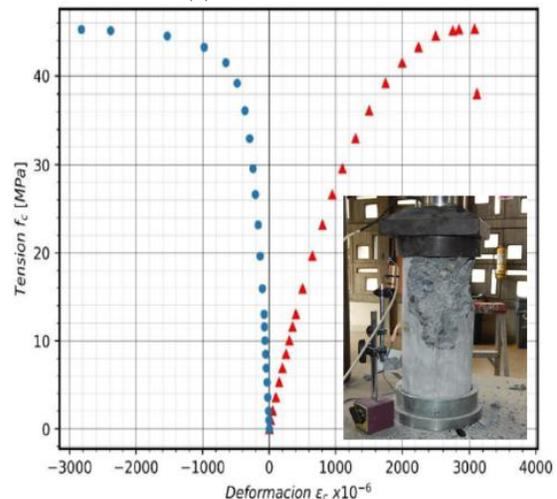
3.2. Probetas patrón con aditivo y sin malla MCA

Para las probetas con aditivo y sin malla de refuerzo se realizaron dos ensayos, cuyos resultados se presentan en la Figuras 10a y 10b. La resistencia y deformación a compresión de los cilindros M2CA y M3CA fue de $f'_c=46.2$ MPa, ($\epsilon_{iu}=1672 \times 10^{-6}$) y $f'_c=44.0$ MPa,

($\epsilon_{iu}=1453 \times 10^{-6}$) respectivamente. La resistencia promedio es muy similar al caso de los cilindros sin aditivo, sin embargo, las deformaciones son menores en las muestras con aditivo.



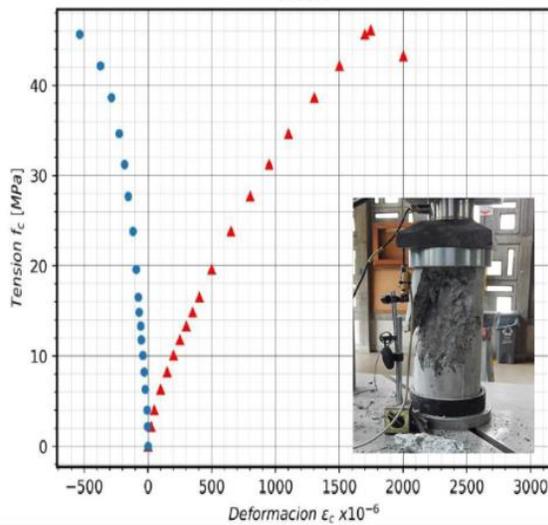
(a) Probeta M2SA



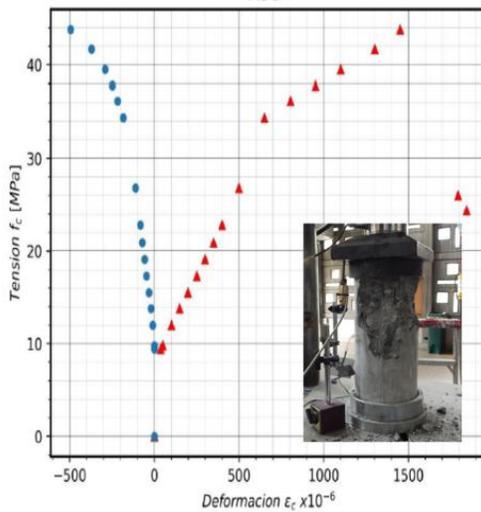
(b) Probeta M3SA

Figura 9. Curva tensión-deformación longitudinal y transversal probeta sin aditivo. Fuente: elaboración propia.

En este caso, las probetas con aditivo tienen una menor capacidad de deformación en promedio ($\epsilon_{iu}=1563 \times 10^{-6}$) en comparación a las probetas sin aditivo ($\epsilon_{iu}=2929 \times 10^{-6}$). Tanto para las probetas sin refuerzo con o sin aditivo, las probetas fallaron a consecuencia de la fractura del concreto en la zona cercana al punto de aplicación de la carga, la cual es típica cuando se utilizan tapas no adherentes de neopreno para distribuir la carga.



(a) Probeta M2CA



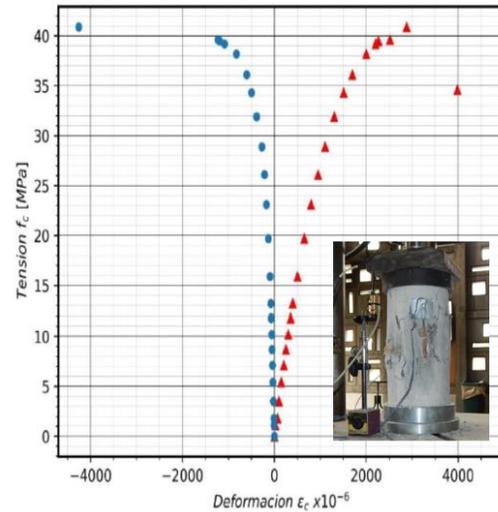
(b) Probeta M3CA

Figura 10. Curva tensión-deformación longitudinal y transversal probeta con aditivo. Fuente: Elaboración propia.

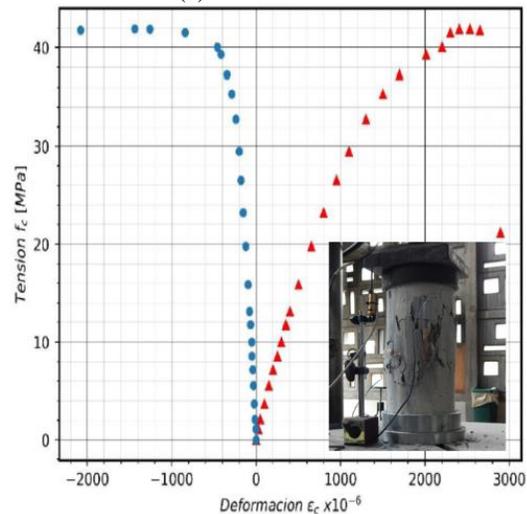
3.3. Probetas patrón con aditivo (CA) y con malla orientada a 60° (MCA60)

Las Figuras 11a y 11b muestran las curvas tensión-deformación para las probetas con aditivo y reforzadas con mallas orientadas a 60°. Para la probeta M1CA60 la resistencia máxima a compresión y la deformación fue $f'_c = 40.9$ MPa ($\epsilon_{cu} = 2877 \times 10^{-6}$) y para la probeta M3CA60 fue $f'_c = 41.9$ MPa, ($\epsilon_{cu} = 2531 \times 10^{-6}$). Sin embargo, si se analiza la deformación de estas muestras, respecto al patrón sin malla, se obtiene una mayor deformación a resistencia pico con un incremento del 72%. La falla del cilindro ocurre por fractura del concreto en la zona

cercana al punto de aplicación de la carga. Esto se debe principalmente al pandeo fuera del plano de las venas de la malla de metal expandido, las cuales debido a su esbeltez fallan por compresión axial.



(a) Probeta M1CA60



(b) Probeta M3CA60

Figura 11. Curva tensión-deformación longitudinal y transversal probeta con aditivo. Fuente: elaboración propia.

3.4. Probetas patrón sin aditivo (SA) y con malla orientada a 90° (MSA90)

Las Figuras 12a a 12c muestran respectivamente los resultados para las probetas M1SA90, M2SA90 y M3SA90. Estas probetas no tienen aditivos y están reforzadas con mallas orientadas a 90°. La resistencia máxima a compresión disminuye ligeramente a un valor promedio de $f'_c = 38.6$ MPa con una deformación

promedio de $\varepsilon_{ui}=1727 \times 10^{-6}$. En este caso la falla ocurre por fractura del concreto en la parte media del cilindro de concreto debido a pandeo global del cilindro de malla de refuerzo.

3.5. Probetas patrón con aditivo (CA) y con malla orientada a 90° (MCA90)

En las Figuras 13a a 13c se presentan los para los cilindros con aditivo y reforzados con mallas orientadas a 90°. Las resistencias máximas a compresión para las probetas M1CA90, M2CA90 y M3CA90 son 39.5 MPa, 36.0 MPa, y 36.3 MPa. El valor promedio para estos cilindros es $f'_c = 37.3$ MPa, con una deformación promedio $\varepsilon_{ui}=1754 \times 10^{-6}$.

El efecto más importante en la muestra con aditivo y malla orientada a 90° es el de aumentar la deformación a resistencia máxima en un 43%.

4. Modos de falla resultantes para los cilindros reforzados

La Figura 14 muestra la falla característica de los cilindros reforzados con mallas a 60° y 90°. En estas figuras se observa claramente que las venas de las celdas de metal expandido han pandeado fuera del plano ocasionando la fractura del concreto debido al delgado espesor del recubrimiento del material.

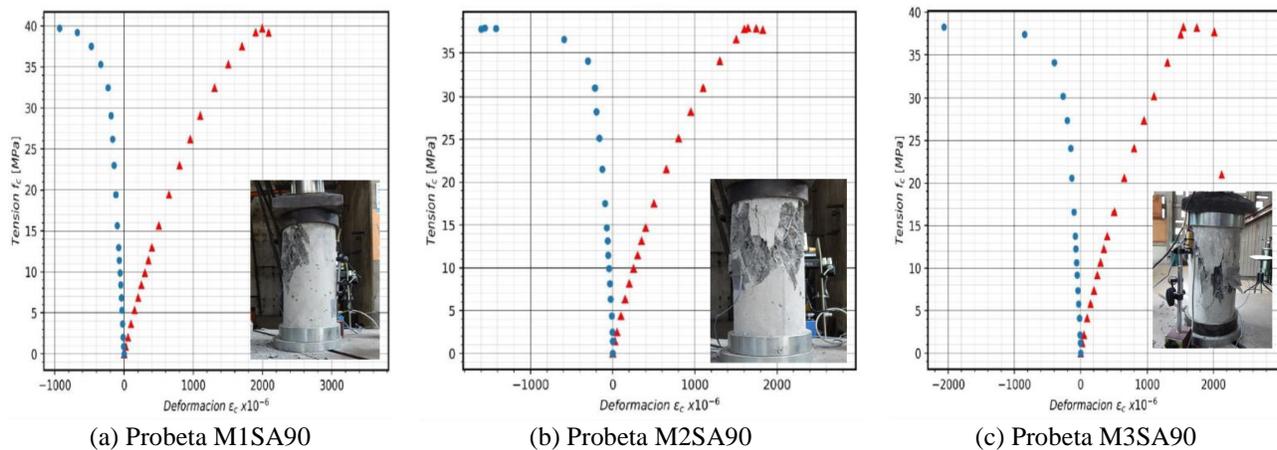


Figura 12. Curva tensión-deformación longitudinal y transversal probeta sin aditivo. Fuente: elaboración propia.

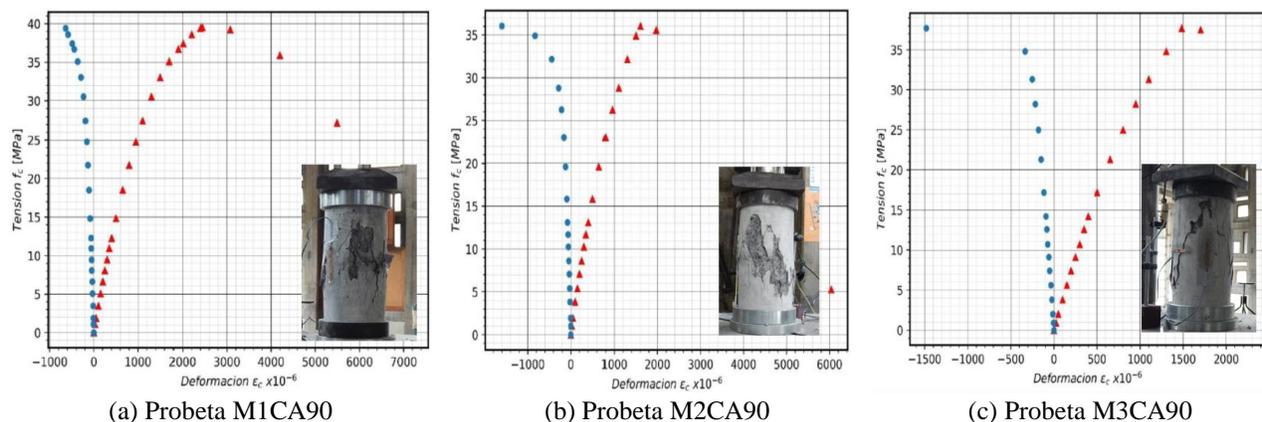


Figura 13. Curva tensión-deformación longitudinal y transversal probeta con aditivo. Fuente: elaboración propia.



(a) 90° (b) 60°

Figura 14. Falla típica de los cilindros de concreto reforzados con mallas de metal expandido. Fuente: elaboración propia.

5. Conclusiones

En este trabajo se llevó a cabo un estudio experimental sobre la resistencia a compresión de cilindros de concreto embebidos con mallas de metal expandido. Tanto la orientación de la malla como el uso de aditivo en la mezcla de concreto se tomaron en cuenta en el estudio.

A partir de los resultados se pudo observar que las mallas de metal expandido fueron incapaces de aumentar la resistencia del concreto debido a la esbeltez de las venas de las celdas, la cual es alta ocasionado pandeo fuera del plano y en consecuencia la fractura del concreto en zonas localizadas a lo largo de los cilindros. Sin embargo, se notó muy bien en los resultados un incremento en las deformaciones a resistencia pico lo que indica mayor disipación de energía del concreto en su rango inelástico.

Para futuras investigaciones se recomienda la utilización de otras orientaciones que puedan de manera efectiva contribuir al confinamiento del concreto.

Financiación

Área Curricular de Posgrado en Ingeniería Civil de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Contribuciones de los autores

O. Giraldo-Bolívar: Conceptualización, Curación de Datos, Análisis Formal, Investigación, Metodología,

Redacción–Borrador Original. L. Lara-Valencia: Metodología, Validación, Visualización, Redacción – Revisión y Edición. C. Graciano-Gallego: Conceptualización, Supervisión, Metodología, Validación, Visualización, Redacción–Borrador Original, Redacción –Revisión y Edición.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Declaración de la Junta de Revisión Institucional

No aplica.

Declaración de consentimiento informado

No aplica

Referencias

- [1] O. Lalaj, Y. Yardım, S. Yilmaz, “Recent perspectives for ferrocement”, *Research on Engineering Structures and Materials*, vol. 1, no. 1, pp. 11-23, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.17515/resm2015.04st0123>
- [2] A. B. M. A. Kaish, M. Jamil, S. N. Raman, M. F. M. Zain, L. Nahar, “Ferrocement composites for strengthening of concrete columns: A review”, *Construction and Building Materials*, vol. 160, pp. 326 - 340, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.054>
- [3] D. Smith, C. Graciano, G. Martínez, “Expanded metal: A review of manufacturing, applications and structural performance,” *Thin-Walled Structures*, vol. 160, 107371, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107371>
- [4] U. Ebead, “Inexpensive strengthening technique for partially loaded reinforced concrete beams: Experimental study”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 27, no. 10, 04015002, 2015, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001249](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001249)
- [5] S. M. Mourad, M. J. Shannag, “Repair and strengthening of reinforced concrete square columns using ferrocement jackets”, *Cement and concrete composites*, vol. 34, no. 2, pp. 288-294, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.100>

- [6] A. M. El-Kholy, S. F. Abd El-Rahman, M. M. El-Assaly, "Short and long RC columns with internal WWM reinforcement under concentric and eccentric compression", *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 17, no. 1, 2023, doi: <https://doi.org/10.1186/s40069-022-00566-0>
- [7] M. Bastami, A. Mousavi, M. Abbasnejadfar, "Evaluation of mechanical characteristics of high-strength reinforced concrete columns with hexagonal chicken wire mesh under cyclic loading", *International Journal of Concrete Structures Materials*, vol. 16, 2022, doi: <https://doi.org/10.1186/s40069-022-00520-0>
- [8] N. M. Apandi, C. K. Ma, C. L. Chin, A. Z. Awang, W. Wazien, "Stress strain response of pre-damaged concrete confined with recycled steel straps-A green confining material", *Journal of Building Engineering*, vol. 75, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106760>
- [9] A. B. Kaish, M. Jamil, S. N. Raman, M. F. M. Zain, "Axial behavior of ferrocement confined cylindrical concrete specimens with different sizes", *Construction and Building Materials*, vol. 78, pp. 50-59, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.044>
- [10] A. M. El-Kholy, H. A. Dahish, "Improved confinement of reinforced concrete columns", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 717-728, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2015.06.002>
- [11] B. Shan, D. D. Lai, Y. Xiao, X. B. Luo, "Experimental research on concrete-filled RPC tubes under axial compression load", *Engineering Structures*, vol. 155, pp. 358-370, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.11.012>
- [12] A. M. El-Kholy, A. El-Mola, A. El-Aziz, A. Magdy, A. A. Shaheen, "Effectiveness of combined confinement with metal meshes and ties for preloaded and post-heated RC short columns", *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 43, no. 4, pp. 1875-1891, 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2782-x>
- [13] A. K. Krishnapriya, N. Saravana-Kumar, A. Sree Rameswari, "Study on the compression behaviour of self-compacting concrete columns using expanded metal mesh as internal confinement", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 03, pp. 2295-2300, 2017.
- [14] I. G. Shaaban, Y. B. Shaheen, E. L. Elsayed, O. A. Kamal, P. A. Adesina, "Flexural characteristics of lightweight ferrocement beams with various types of core materials and mesh reinforcement", *Construction and Building Materials*, vol. 171, pp. 802-816, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.167>
- [15] A. Leeanansaksiri, P. Panyakapo, A. Ruangrassamee, "Seismic capacity of masonry infilled RC frame strengthening with expanded metal ferrocement", *Engineering Structures*, vol. 159, pp. 110-127, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.12.034>
- [16] A. Furtado, H. Rodrigues, A. Arêde, H. Varum, "Experimental tests on strengthening strategies for masonry infill walls: A literature review". *Construction and Building Materials*, vol. 263, 120520, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120520>
- [17] R. P. Clarke, "Natural disaster mitigation using advanced ferrocement—Future research directions for improved building resilience", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, e00990, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00990>
- [18] A. Cumhuri, A. Altundal, S. Aykac, B. Aykac, "Strengthening of hollow brick infill walls with expanded steel plates", *Earthquakes and Structures*, vol. 11, no. 5, pp. 887–904, 2016.
- [19] Y. Chonratana, V. Chatpattananan, "The seismic resistance analysis of frame structures and wall structures using ferrocement and expanded metal", *Applied Sciences*, vol. 13, no. 8, 4704, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app13084704>
- [20] T. A. El-Sayed, Y. B. Shaheen, M. M. AbouBakr, R. M. Abdelnaby, "Behavior of ferrocement water pipes as an alternative solution for steel water pipes", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, e01806, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01806>
- [21] T. A. El-Sayed, Y. B. Shaheen, F. H. Mohamed, R. M. Abdelnaby, "Performance of ferrocement composites circular tanks as a new approach for RC tanks", *Case Studies in Construction Materials*, e02228, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02228>
- [22] C. Codrean, M. Vodă, D. Buzdugan, V. A. Șerban, "Hierro gris amorfo para refuerzo de hormigón", *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, no. 1, pp. 103–108, 2020, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020010>

[23] M. A. Rojas-Manzano, I. F. Otálvaro-Calle, J. A. Pérez-Cacedo, H. M. Benavides, C. Ambriz-Fregoso, “Uso de las escorias de horno de arco eléctrico (EHAE) en la construcción – Estado del Arte”. *Revista UIS Ingenierías*, vol. 20, no. 2, pp. 53–64, 2021, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n2-2021005>

[24] S. P. Muñoz-Pérez, A. L. Cabrera-Alcántara, C. C. Delgado-Bravo, P. A. Renilla-Lau, “Comportamiento físico-mecánico del hormigón adicionando residuos de acero: una revisión literaria”, *Revista UIS Ingenierías*, vol. 21, no. 1, pp. 57–72, 2022, doi: <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n1-2022005>

[25] Expanded Metal Manufacturers Association (EMMA), Division of the National Association of Architectural Metal Manufacturers (NAAM) “EMMA 557-20: Standards for expanded metal”, 2020. <https://www.naamm.org/store/product/9/standards-for-expanded-metal>.

[26] C. Graciano, G. Martínez, D. Smith, “Experimental investigation on the axial collapse of expanded metal tubes”, *Thin-Walled Structures*, vol. 47, nos. 8-9, pp. 953-961, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2009.02.002>

[27] O. Giraldo-Bolívar, “Diseño de mezclas de hormigón: métodos empíricos y analíticos”, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, 2004, <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/50123>

[28] Conasfaltos S.A. Productos. <https://conasfaltos.com/productos/>

[29] O. Giraldo-Bolívar, “Comportamiento tensión deformación en cilindros estándar de concreto confinados con malla de metal expandido”, Trabajo fin de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2020, <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78445>

[30] ASTM C 192/C 192M-05 “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2005, pp. 1-8.

[31] ASTM C 39/C 39M-05, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02 Concrete and Aggregates, West Conshohocken, PA, United States, 2005, pp. 1-7.