



**CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CONCRETO
REFORZADOS CON MACRO FIBRAS, EN PAVIMENTOS, CON
MATERIALES LOCALES.**

ARTURO RODRIGUEZ CRUZ

Artículo

Asesor, docente
Ingeniero Julian Vidal Valencia

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE CIENCIAS APLICADAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MEDELLÍN
2024

Caracterización del comportamiento de concreto reforzados con macro fibras, en pavimentos, con materiales locales.

por Arturo Rodriguez Cruz

Biografía: Ingeniero civil, especialista en gerencia de proyectos, especialista en diseño vial e ingeniería de pavimentos; con experiencia en diseño, consultoría y construcción de pavimentos hidráulicos, pisos industriales y sistemas para recuperación y mantenimiento de estos.

Sus intereses de investigación son: la tecnología de concretos y la durabilidad de estructuras de concreto presforzado.

ABSTRACT

El concreto reforzado con fibras se convierte en un material de alto desempeño. Con la aplicación de este tipo de refuerzo se puede controlar la propagación del ancho de fisuras, además de incrementar la capacidad de transferencia de carga del elemento en estado fisurado. El uso de fibras es de mayor utilidad para la construcción de losas en concreto sobre terreno; mediante el ensayo ASTM C1609-19 se determina la resistencia residual del concreto reforzado con fibra, donde la punta (P^D_{600}) debe ser mayor al 40% de (P_p) y para la punta (P^D_{150}) mayor a 20% de (P_p).

Se concluye que los tipos de fibra poseen características similares pero el desempeño está sujeto al uso al cual se someta.

Palabras clave: hormigón, concreto, macro fibras sintéticas, resistencia residual, módulo elasticidad, carga última

INTRODUCCIÓN

Desde hace siglos se utilizan fibras para reforzar materiales frágiles, por ejemplo, se empleaba la paja para reforzar ladrillos de arcilla. (Jayaram et al., 2022)

El uso de hormigón reforzado con fibras se ha masificado en las últimas décadas, gracias a los beneficios para el desempeño estructural la optimización en la construcción, que ayudan a disminuir tiempos de ejecución. (Zhang et al., 2020)

Dentro de las fibras más utilizadas, son las macro fibras de polipropileno, las cuales se encuentran de dos tipos, enduro y twisted. Las cuales tiene un nivel parecido de prestaciones en la aplicación de pavimentos hidráulicos y pisos industriales. (Sun et al., 2020)

Para determinar si las fibras se pueden clasificar como refuerzo primario para este tipo de elementos, es necesario cumplir con los parámetros de cuantía mínima en la dosificación de acuerdo con cada tipo de fibra. (da Silva et al., 2020)

Los fabricantes distribuyen en el mercado fibras, teniendo en cuenta las características físicas, pero el comportamiento dentro del elemento no se verifica técnicamente en cuanto al desempeño, aun conociendo la influencia que esta tiene asociada al tipo de concreto que se utiliza, además de la cuantía de cada tipo de fibra según el uso que se requiera. (Polikutin et al., 2018)

Con el uso del ensayo normalizado ASTM-C1609 se obtendrán las curvas carga desplazamiento para concretos reforzados con fibra enduro y twisted utilizando mínima cuantía. Los resultados obtenidos permitirán evaluar el comportamiento de las fibras utilizadas y su distinta dosificación (Wang et al., 2017)

El objetivo es evaluar el comportamiento de los tipos de dos tipos de macro fibras sintéticas, dosificadas en cuantía mínima, y medir la respuesta del concreto reforzado, sometido pruebas a la flexión.

IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción, a pesar de que presenta un comportamiento predominantemente frágil. Una de las mayores aplicaciones de este insumo, es la construcción de pavimentos hidráulicos (Al Majeed & Al-Khafaji, 2022). Con el fin de optimizar la cantidad utilizada y mejorar sus propiedades, dentro de los desarrollos que se investigan para mejorar esta condición, nos preguntamos ¿Como mejora la resistencia del concreto el uso de diferentes fibras macro sintéticas al pavimento hidráulico? La adición de fibras al hormigón modifica su comportamiento de ductilidad, así como algunas propiedades mecánicas. Encontrar la relación entre la adición de fibras y el cambio en el espesor de las muestras de prueba de laboratorio hechas de concreto, puede ayudar a diseñar el espesor óptimo de las capas de concreto reales (especialmente pavimentos de concreto) (Daneshfar et al., 2023)

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Con el fin del desarrollo del proyecto, se establece el procedimiento para cubrir las diferentes variables, las cuales se deben organizar de acuerdo con el desarrollo de la investigación. El procedimiento se indica a continuación: se inicia la ubicación de los materiales para la producción de concreto, las fibras macro sintéticas tipo III según ASTM 1116. Se sometieron a investigación probetas prismáticas de (350 mm [14 in] longitud, alto 100 mm [4 in] y ancho alto 100 mm [4 in]), para la fibra enduro o monofilamento (A). De acuerdo a la longitud de la fibra twisted o multifilamento (B), se tomaron otras probetas prismáticas de (500 mm [20 in] longitud, alto 150 mm [6 in] y ancho alto 150 mm [6 in]). Para ambos casos, se tomó cada muestra con 5 especímenes. Se consideró concreto de resistencia a flexión de 3.9 MPa, realizando el diseño de mezcla con materiales locales; se evalúa el comportamiento de los tipos de macro fibras sintéticas dosificadas en cuantía mínima, a través de la respuesta de

concreto reforzado con fibras sometidas a flexión y el comportamiento post fisuración mediante pruebas de resistencia residual. Adicionalmente, se toman muestras de dos especímenes cilíndricos (150 mm [6 in] de diámetro y 300 mm [12 in] de altura), para someter a pruebas de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.

Materiales

Para el diseño de mezcla, (módulo de rotura)3.9 MPa (MR 39) y resistencia a la compresión 24 MPa (f'_c), se utilizaron materiales de canteras locales, el concreto base fue elaborado con 360 kg/m³ de cemento (NTC 121 tipo ART), 833 kg/m³ arena natural (NTC 174 AR concreto), 1018 kg/m³ de agregado grueso triturado con tamaño nominal 3/4".

A la mezcla se adicionó aditivo plastificante de bajo margen en dosificación del 1% en relación del peso del cemento (Tabla 1). Para cada muestra se adicionaron 3 kg/m³ de fibra monofilamento (A) longitud 48 mm, diámetro 0.73 mm o Fibra multifilamento (B) longitud 50 mm y diámetro 0.34 mm, según el espécimen a evaluar.(Tabla 2)

Material	Proveedor	%	Masa Seca (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (l/m ³)
Cemento ART	Local	1	360	3,1	116,13
Arena	Local	0,45	832,66	2,683	310,73
Gravilla 3/4"	Local	0,55	1017,69	2,677	379,78
Agua	Agua	1	180	1	180,00
		0	0	0,92	0,00
Aire		0,01			10,00
Platificante	Local	0,01	3,6	1,07	3,36

Tabla 1 Diseño de mezcla de concreto

Descripción	Longitud (mm)	Diametro equivalente (mm)	Tipo	Cuantía Mínima (kg/m ³)	Resistencia Tracción (Mpa)
Fibra Macro Tipo Enduro (A)	48	0,73	Monofilamento	3	530
Fibra Macro Tipo Twisted (B)	50	0,34	Multifilamento	3	480

Tabla 2 Descripción propiedades de cada fibra

Especímenes

Se realizaron probetas prismáticas de (350 mm [14 in] longitud, alto 100 mm [4 in] y ancho alto 100 mm [4 in]) para la muestra (A) y se tomaron para la muestra (B) probetas prismáticas de (500 mm [20 in] longitud, alto 150 mm [6 in] y ancho alto 150 mm [6 in]); cada muestra con 5 especímenes. Adicionalmente, dos especímenes cilíndricos (150 mm [6 in] de diámetro y 300 mm [12 in] de altura) para medir el módulo de Elasticidad.

Las pruebas se realizaron utilizando concreto demodulo de rotura 3.9 MPa, adicionando fibra enduro o monofilamento a la muestra (A) o fibra twisted o multifilamento a la muestra (B) para cada grupo de muestras.

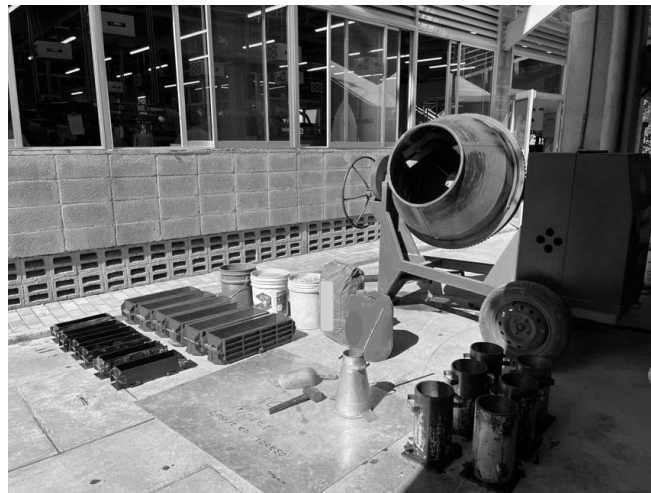


Fig. 1 Disposición de equipos para muestreo

Elementos de investigación

Cumpliendo la edad de 28 días, se sometieron a pruebas las muestras cilíndricas de concreto reforzado con macro fibras para determinar la resistencia a la compresión, módulo (E) de elasticidad y el coeficiente de Poisson. A la misma edad, se generaron las pruebas a la resistencia a la flexión para las muestras prismáticas, determinando la resistencia residual con

carga al tercio medio de la luz del elemento, para los tamaños considerados de acuerdo con la probeta.(Fig.2)

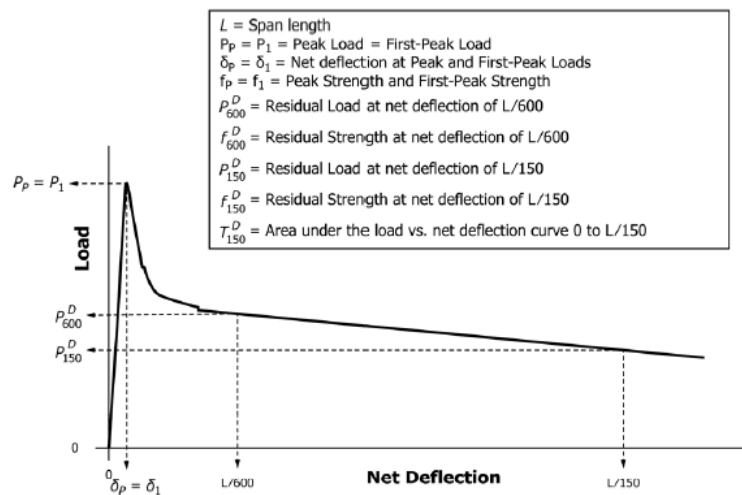


Fig. 2 Ejemplo de cálculo de parámetros para una carga de primera punta igual a la carga de la punta

INVESTIGACIÓN ANALÍTICA

En cada caso de las muestras cilíndricas de (150 mm [6 in] de diámetro y 300 mm [12 in] de altura), se evalúa la resistencia a la compresión a 28 días, mediante la ubicación de galgas en sentido transversal y longitudinal para la toma de datos de deformación en dos direcciones, se determina la curva esfuerzo-deformación para el cálculo del módulo elástico y los valores de deformaciones lateral para determinar el coeficiente de Poisson. (Fig. 3)



Fig. 3 Ensayo módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson

A esta edad, se sometieron a evaluación la resistencia a flexión y la capacidad residual sobre 5 prismas de (350 mm [14 in] longitud, alto 100 mm [4 in] y ancho alto 100 mm [4 in]) muestra (A) y 5 prismas de (500 mm [20 in] longitud, alto 150 mm [6 in] y ancho alto 150 mm [6 in]) muestra (B). Se usó el sistema con control por lazo cerrado a partir de la señal de dos transductores que registran datos de la punta (flecha), ubicados al centro de la luz del elemento, mediante una estructura adosada a los lados del prisma y posicionados con los apoyos a mitad de altura, con posibilidad de rotar y capacidad de movimiento lateral. Para cada caso, la luz entre apoyos fue 300 mm y 450 mm, respectivamente.

Se registra la curva carga-punta para los especímenes (A) a 2 mm y para los especímenes (B) a 3mm; se calculó el módulo de rotura para carga máxima y resistencia residuales para punta (P_{600}^D) $L/600$ y (P_{150}^D) $L/150$. (Fig. 2)

Las probetas por evaluar se curaron por inmersión durante 14 días, luego fueron retiradas y expuestas a condiciones naturales del ambiente. (Fig.4)

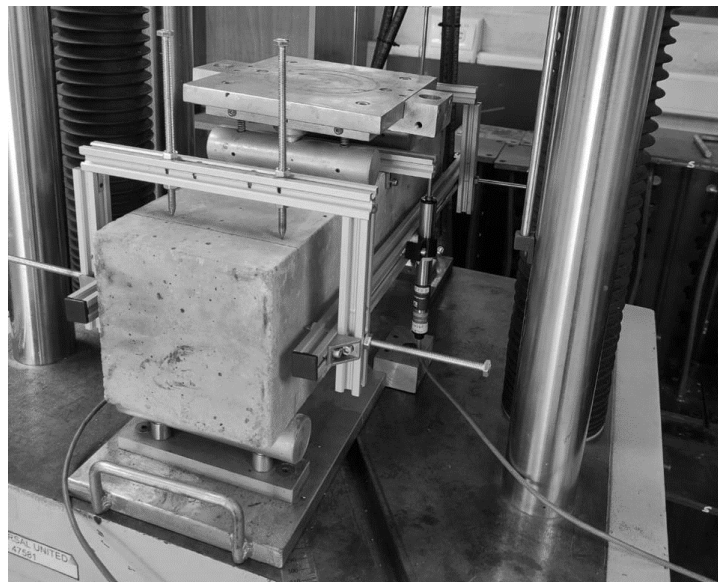


Fig. 4 Ensayo resistencia residual

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad coeficiente de Poisson.

Las resistencias a la compresión y el módulo de elasticidad para la fibra (A) Fig. 2 evidencian a mayor carga se disminuye el módulo, en el caso de coeficiente de Poisson a mayor carga se genera incremento. Para la fibra (B) el comportamiento es similar. En los casos de la fibra (A) y (B) con relación a las muestras sin fibra se observa que la resistencia a la compresión disminuye.

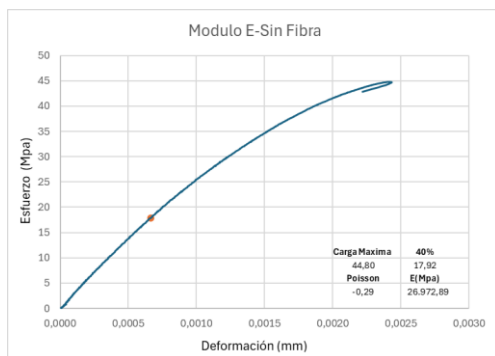


Fig. 5 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Sin Fibra

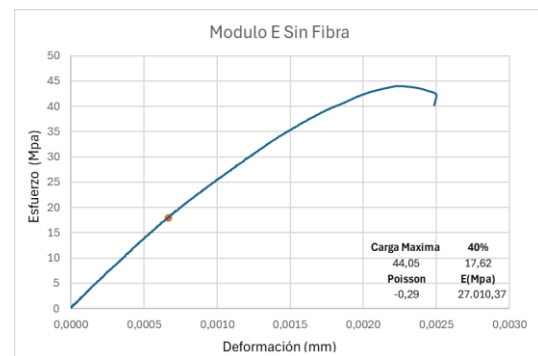


Fig. 6 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Sin Fibra 2

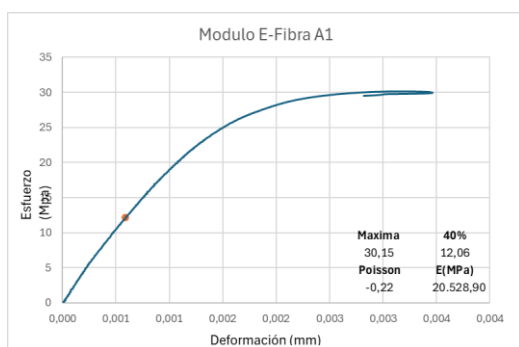


Fig. 7 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Fibra A1

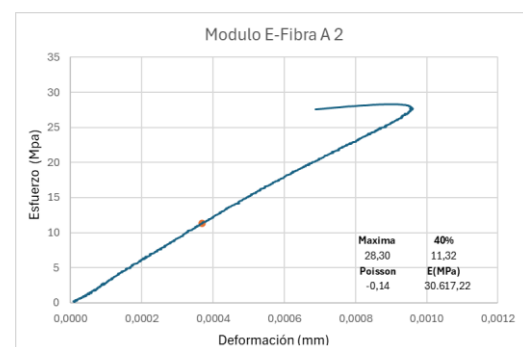


Fig. 8 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Fibra A2

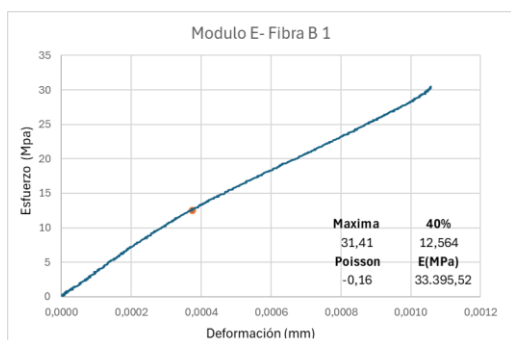


Fig. 9 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Fibra B1

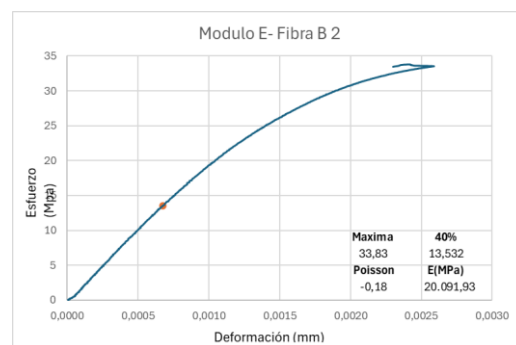


Fig. 10 Curva Cálculo Módulo elástico- Poisson Fibra B2

Resistencia residual carga-deflexión

La (Fig. 2) muestra curvas típicas carga – punta que se obtuvieron en los ensayos; se evidencia claramente cómo el uso de fibras incrementa la capacidad residual del concreto.

Basados en la (Fig. 11) y (Fig. 12) se determina el desempeño de los dos tipos de fibra, para evaluar su comportamiento en la carga de servicio ($L/600$) y la carga ultima ($L/150$).

Se observa para la fibra (A) que la primera punta aporta un incremento importante, pero disminuye llegando a valores límites permitidos en la segunda punta; para la fibra (B) el comportamiento se equilibra y los valores se encuentran dentro del comportamiento típico de este tipo de fibras. Curva carga de primera punta (P^D_{600}) y (P^D_{150}) Fibra A1

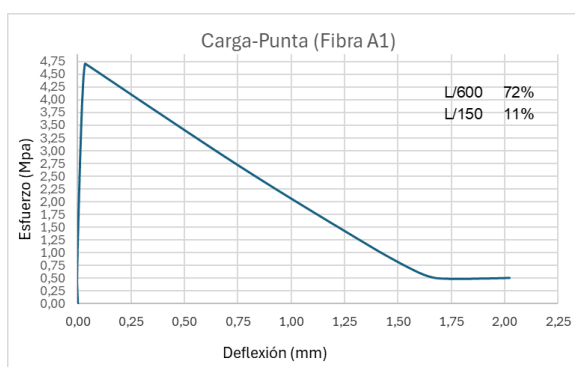


Fig. 11 Curva primera punta (P^D_{600}) y (P^D_{150}) Fibra A1

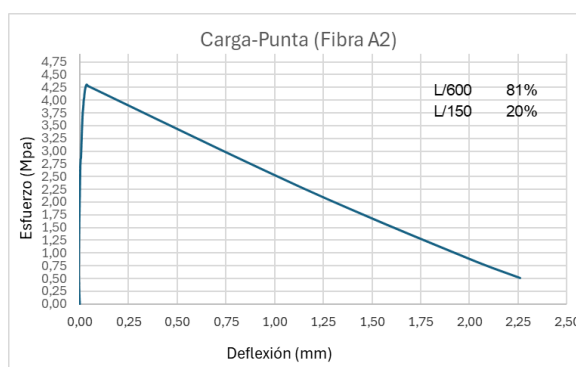


Fig. 12 Curva primera punta (P^D_{600}) y (P^D_{150}) Fibra A2

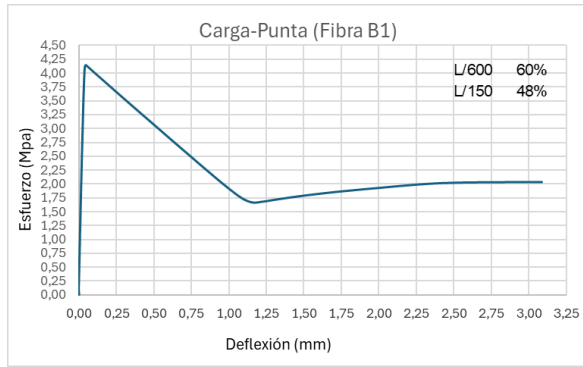


Fig. 13 Curva primera punta (P^D_{600}) y (P^D_{150}) Fibra B1

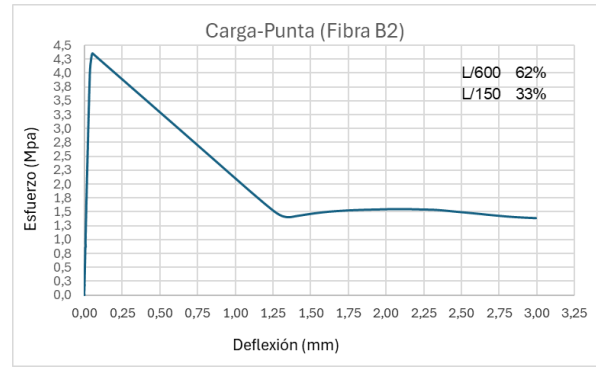


Fig. 14 Curva primera punta (P^D_{600}) y (P^D_{150}) Fibra B2

CONCLUSIONES

El concreto reforzado con fibra ofrece ventajas frente a problemas generados por las cargas soportadas por el elemento, además ayuda en la vida de servicio de la estructura de pavimento. Basados en los resultados de la presente investigación experimental, se aportan las siguientes conclusiones:

1. Como era de esperar, la capacidad residual que provoca una misma dosis de refuerzo no es independiente de la fibra seleccionada, la diferencia se presenta en el momento del uso que se determine, para el cálculo de la carga de servicio (P^D_{600}) o carga última (P^D_{150}) del elemento a reforzar.
2. La fibra (A) aporta mayor capacidad en la carga de servicio con comportamiento dúctil, pero para la carga última su comportamiento es frágil.
3. La fibra (B) aporta porcentaje equilibrado entre la carga de servicio y la carga última donde su comportamiento es dúctil
4. La resistencia a la compresión disminuye con la adición de fibras según las muestras realizadas, sin embargo, la resistencia a flexión se mantiene dentro del valor especificado en el diseño de mezcla.
5. De los
6. resultados obtenidos del entre la fibra (A) y (B), se logra determinar que la longitud y el diámetro de la fibra son valores relevantes para el desempeño, a menor diámetro mayor cantidad de fibras en la mezcla, a mayor longitud mejor punto de anclaje y adherencia entre fibra y concreto.
7. “Se recurre a la incorporación de macro fibras sintéticas como reemplazo de las armaduras tradicionales en la construcción de pavimentos y pisos industriales, a razón del mejoramiento de algunas propiedades del hormigón fresco y endurecido. Las fibras controlan la propagación y ancho de las fisuras de contracción” (Roberto Pombo).

Basados en el proceso de investigación se evidencia el cambio de comportamiento de post fisuración del concreto con adición de fibra (Fig.11), (Fig.12), (Fig.13), (Fig.14), con relación al concreto sin fibra (Fig.5), (Fig.6) cumpliendo con la relación esperada entre la carga de servicio y la carga ultima.

REFERENCIAS

1. Al Majeed, E. A., & Al-Khafaji, F. F. (2022). Assessment of Main Related Characteristics For Modified Highway Concrete Pavement By Fibers. *AIP Conference Proceedings*, 2660. <https://doi.org/10.1063/5.0108685>
2. ASTM Internacional. (2010a). *Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading) 1*. https://doi.org/10.1520/C1609_C1609M-19
3. ASTM Internacional. (2010b). *Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete 1*. https://doi.org/10.1520/C1399_C1399M-10
4. Christensen, F. A., Uljkjrer, J. P., & Brincker, R. (2015). Crack widths in concrete with fibers and main reinforcement. *Fib Symposium*, 93.
5. da Silva, G. C. S., Christ, R., Pacheco, F., de Souza, C. F. N., Gil, A. M., & Tutikian, B. F. (2020). Evaluating steel fiber-reinforced self-consolidating concrete performance. *Structural Concrete*, 21(1), 448–457. <https://doi.org/10.1002/suco.201900141>
6. Daneshfar, M., Hassani, A., Aliha, M. R. M., & Berto, F. (2022). Investigating Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete with Different Contents and Types of Macrosynthetic Fiber. *Strength of Materials*, 54(4), 650–661. <https://doi.org/10.1007/s11223-022-00443-x>
7. Daneshfar, M., Hassani, A., Aliha, M. R. M., Sadowski, T., & Karimi, A. (2023). Experimental Model for Study of Thickness Effect on Flexural Fatigue Life of Macro-Synthetic-Fiber-Reinforced Concretes. *Buildings*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/buildings13030642>

8. Han, D., Kim, K.-M., Lee, G.-C., Choi, J.-G., & Koh, G.-T. (2015). Influence of steel fiber content and aspect ratio on the strength of high strength concrete. *Journal of Ceramic Processing Research*, 16, s56–s62.
9. Jayaram, M., Naresh, J., Thipparthi, K., & Kastro Kiran, V. (2022). Assessment on mechanical properties of concrete with polypropylene fiber. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 982(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/982/1/012004>
10. Kasu, S. R., Mitra, N., & Muppireddy, A. R. (2021). Influence of polyester microfiber reinforcement on flexural fatigue characteristics of concrete. *Road Materials and Pavement Design*, 22(12), 2866–2882.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2020.1808521>
11. Leonardo, A., & Medina, N. (2020). *Efecto de la mezcla de micro-fibras y macro-fibras poliméricas en el comportamiento a flexión y compresión del UHPFRC*.
12. Polikutin, A. E., Levchenko, A. V., & Korotkih, D. N. (2018). Comparative analysis of the durability of normal sections reinforced rubber concrete with fiber and reinforced concrete bending elements. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 463(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022040>

TABLAS Y FIGURAS

Lista de tablas:

Tabla 1 Diseño de mezcla de concreto-----	5
Tabla 2 Descripción propiedades de cada fibra-----	5

Lista de Figuras:

Fig. 1 Disposición de equipos para muestreo -----	6
Fig. 2Ejemplo de cálculo de parámetros para una carga de primera punta igual a la carga de la punta-----	7
Fig. 3 Ensayo módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson-----	7
Fig. 4 Ensayo resistencia residual -----	8
Fig. 5 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Sin Fibra -----	9
Fig. 6 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Sin Fibra 2 -----	9
Fig. 7 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Fibra A1-----	9
Fig. 8 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Fibra A2-----	9
Fig. 9 Curva Calculo Módulo elástico- Poisson Fibra B1 -----	10
Fig. 10 Curva Cálculo Módulo elástico- Poisson Fibra B2 -----	10
Fig. 11Curva primera punta (P_D^{600}) y (P_D^{150}) Fibra A1-----	10
Fig. 12Curva primera punta (P_D^{600}) y (P_D^{150}) Fibra A2-----	10
Fig. 13Curva primera punta (P_D^{600}) y (P_D^{150}) Fibra B1 -----	11
Fig. 14 Curva primera punta (P_D^{600}) y (P_D^{150}) Fibra B2 -----	11