

Proposed Design of Hydraulic Concrete Mixture with Incorporation of Banana Fiber

Josué David López Serpas, Ing. Civil¹, David Orlando Perdomo Aguirre, Ing. Civil², Ada S. Rodríguez, Máster Ing. en Estructuras³.

^{1,2,3} Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, San Pedro Sula, Honduras,
josulopser@unitec.edu, davidperdomo@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec.edu.hn

Abstract *This research investigates the mechanical performance of fiber-reinforced concrete using banana pseudo stem fibers, following ACI and ASTM standards. A quantitative experimental approach was applied, fabricating 48 specimens, including four mix designs with fiber contents of 0%, 1%, 1.5%, and 2%. The fibers underwent chemical treatment with sodium hydroxide (NaOH) to enhance adhesion and mechanical properties.*

Workability tests (ASTM C143, ASTM C231) showed a slump reduction as fiber content increased, from 4.5 inches (control) to 3 inches (2% fiber mix), while air content ranged from 1.5% to 2.0%. Compression tests (ASTM C39) at 7, 14, and 28 days indicated that only the 1% fiber mix exceeded the design f'_c of 4000 psi, reaching 5309.9 psi at 28 days. Higher fiber percentages reduced compressive strength, with 2% fiber achieving only 4484 psi.

Flexural strength (ASTM C78) improved with fiber incorporation, with the 1% fiber mix reaching 640.2 psi, exceeding the 600 psi ACI requirement. However, higher fiber contents decreased modulus of rupture, with 2% fiber dropping to 485.3 psi.

The results demonstrate that 1% banana fiber enhances mechanical performance without compromising workability. Future studies should explore fiber-matrix interaction and alternative treatments to optimize sustainable fiber-reinforced concrete applications.

Keywords: Concrete, Fiber, Pseudo stems, Strength, Banana.

Propuesta de diseño de mezcla de hormigón hidráulico con incorporación de fibra de plátano

Josué David López Serpas, Ing. Civil¹, David Orlando Perdomo Aguirre, Ing. Civil², Ada S. Rodríguez, Máster Ing. en Estructuras³.

^{1,2,3} Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, San Pedro Sula, Honduras,
josulopser@unitec.edu, davidperdomo@unitec.edu, ada.rodriguez@unitec.edu.hn

Resumen. Esta investigación analiza el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras de pseudotallo de plátano, conforme a las normas ACI y ASTM, mediante un enfoque experimental cuantitativo en el que se fabricaron 48 especímenes con cuatro diseños de mezcla que incluyen contenidos de fibra del 0%, 1%, 1,5% y 2%. Las fibras fueron tratadas químicamente con hidróxido de sodio (NaOH) para mejorar su adherencia y propiedades mecánicas. Las pruebas de trabajabilidad (ASTM C143, ASTM C231) mostraron una disminución del asentamiento desde 4,5 pulgadas (mezcla control) hasta 3 pulgadas (mezcla con 2% de fibra), mientras que el contenido de aire se mantuvo entre 1,5% y 2,0%. Las pruebas de compresión (ASTM C39) realizadas a los 7, 14 y 28 días revelaron que únicamente la mezcla con 1% de fibra superó la resistencia de diseño de 4000 psi, alcanzando 5309,9 psi a los 28 días, mientras que contenidos mayores redujeron dicha resistencia, siendo el valor más bajo 4484 psi con 2% de fibra. Por otro lado, la resistencia a la flexión (ASTM C78) aumentó con la adición de fibra, destacando la mezcla con 1% que alcanzó 640,2 psi, por encima de los 600 psi exigidos por ACI, aunque valores mayores de fibra disminuyeron el módulo de rotura hasta 485,3 psi con 2%. Estos resultados indican que un 1% de fibra de plátano mejora significativamente el rendimiento mecánico sin comprometer la trabajabilidad del concreto, recomendando que investigaciones futuras profundicen en la interacción fibra-matriz y exploren tratamientos alternativos para fortalecer su aplicación sostenible. Palabras clave: Hormigón, Fibra, Pseudotallos, Resistencia, Plátano.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción, existe una creciente preocupación por la necesidad de implementar prácticas más sostenibles, que incluyan la utilización de materiales renovables y ecológicos. Uno de los principales problemas que enfrenta este sector es la alta dependencia del concreto convencional, cuya producción, especialmente del cemento, genera grandes cantidades de emisiones de dióxido de carbono, contribuyendo significativamente al cambio climático.

Paralelamente, la agricultura del banano en países como Honduras produce una gran cantidad de residuos orgánicos, específicamente el pseudotallo de banano, que suele ser desechado o quemado, generando contaminación. Esta situación plantea la oportunidad de explorar el potencial de estos desechos agrícolas como materiales constructivos.

En este contexto, la incorporación de la fibra de pseudotallo de banano en el concreto se presenta como una solución innovadora para reducir el impacto ambiental tanto en la construcción como en la agricultura, mejorando las propiedades mecánicas del concreto y contribuyendo a una economía más circular y sostenible.

El objetivo general de la investigación consiste en desarrollar un diseño de mezcla de concreto con incorporación de fibra de pseudotallo de banano mediante la elaboración por dosificación y pruebas de resistencia a flexión y compresión según normativas ACI y ASTM para evaluar las propiedades físico-mecánicas con respecto al concreto convencional.

El propósito de esta investigación es proporcionar una alternativa sostenible al concreto tradicional, explorando el uso de la fibra de pseudotallo de banano como un aditivo suplementario. Al aprovechar un subproducto agrícola abundante y de bajo costo, se busca no solo mejorar las propiedades mecánicas del concreto, sino también reducir la generación de residuos.

A. Concreto Hidráulico

El concreto, también conocido como hormigón, es una mezcla de cemento, agregados finos y gruesos, y agua, diseñada para lograr un adecuado fraguado y endurecimiento [1]. Se destaca por su capacidad para soportar grandes esfuerzos de compresión y tensión, lo que lo convierte en un material esencial en la construcción de infraestructuras [2].

Su popularidad se debe a su versatilidad, buena resistencia al fuego, y la disponibilidad de los materiales que lo componen [3]. La dosificación de los componentes, como el cemento y los agregados, es fundamental para lograr las propiedades mecánicas deseadas, especialmente la resistencia a la compresión [4].

B. Propiedades del Concreto Fresco

El concreto fresco es la mezcla de componentes antes de su endurecimiento, caracterizado por su flexibilidad y trabajabilidad, factores que dependen de la proporción de los materiales [5]. La cantidad de agua y cemento influye en su manejabilidad, pero un exceso de agua puede reducir la resistencia y durabilidad del material [6].

El proceso de hidratación del cemento, principalmente del silicato tricálcico, es esencial en el endurecimiento del concreto, lo que permite entender mejor el comportamiento de la mezcla antes de su fraguado [7].

C. *Propiedades del Concreto Endurecido*

El concreto endurecido mantiene muchas de las propiedades del concreto fresco, especialmente en términos de resistencia mecánica y durabilidad [8]. El tipo de cemento Portland utilizado influye de forma considerable en las propiedades finales del material, y los agregados de caliza triturada mejoran la resistencia del concreto [9].

La correcta dosificación y selección de materiales asegura que las propiedades químicas del concreto fresco se reflejen en la mezcla endurecida, siendo el endurecimiento del silicato tricálcico clave para lograr estas características.

D. *Producción y Extracción de los Materiales*

La producción de cemento, componente principal del concreto, es un proceso intensivo en energía y emite aproximadamente 0.9 kg de gases de efecto invernadero por cada kilogramo producido [3].

La extracción de agregados, aunque tiene un menor impacto ambiental que el cemento, sigue siendo significativa, especialmente cuando se utiliza arena de río natural, la cual puede afectar negativamente la durabilidad del concreto [10].

Este proceso destaca la importancia de la calidad de los materiales utilizados para garantizar un concreto de buen desempeño mecánico.

E. *Infraestructura Civil*

El concreto ofrece ventajas como alta resistencia mecánica y costos relativamente bajos, pero su fragilidad ante tensiones de tracción es una limitación [11]. Los avances en materiales inteligentes buscan mejorar su resistencia y durabilidad, promoviendo el uso de fibras naturales como refuerzo sostenible en la construcción [12].

Estas fibras no solo mejoran las propiedades del concreto, sino que también promueven prácticas de construcción más ecológicas al utilizar desechos vegetales [10].

F. *Fibras Naturales*

Las fibras naturales han sido utilizadas en la construcción desde tiempos antiguos, y hoy en día se valoran por su bajo impacto ambiental y beneficios económicos [13]. Estas fibras, provenientes de plantas y animales, son renovables y reciclables, y su uso correcto puede prolongar la vida útil de las estructuras de concreto, reducir los costos de mantenimiento y minimizar el impacto ambiental [3].

G. *Fibra de Pseudotallo de Banano*

Las fibras del pseudotallo de banano son lignocelulósicas y se han identificado como un material adecuado para reforzar el concreto debido a sus propiedades mecánicas [14].

Las grandes extensiones de plantaciones de banano generan toneladas de desechos, que, al descomponerse, emiten gases de efecto invernadero, lo que destaca la importancia de reutilizar estos residuos en la construcción [15]. La celulosa y lignina en estas fibras les otorgan resistencia a la tracción y biodegradación, mejorando así su aplicabilidad en el concreto [11].

H. *Propiedades Mecánicas*

El concreto reforzado con fibras de banano mejora la homogeneidad e isotropía del material. Estas fibras contribuyen a una mayor resistencia a la flexión y al corte, mejorando la ductilidad y tenacidad del concreto [16].

II. METODOLOGÍA

La metodología presentada describe un enfoque cuantitativo, cuyo objetivo es evaluar y comparar las propiedades mecánicas del concreto con diferentes porcentajes de fibra de pseudotallo de banano. Dentro de la variable dependiente e independientes establecidas para el estudio consiste, por un lado, para la variable dependiente el diseño de mezcla de concreto con incorporación de fibra de pseudotallo de banano y, por otro lado, las variables independientes contienen la fibra de banano, agregados, mezcla de concreto y propiedades mecánicas.

En este proyecto de investigación, se decidió utilizar una metodología con enfoque cuantitativo, estudio experimental, diseño transversal, alcance exploratorio, método físico y técnica no probabilística. El enfoque cuantitativo es adecuado porque permite la recolección y análisis de datos precisos sobre las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia a la compresión y flexión, lo que facilita comparaciones claras entre el concreto convencional y el concreto con fibras de banano.

El estudio experimental es clave porque permite manipular la variable independiente, es decir, las diferentes proporciones de fibra de banano añadidas al concreto, lo que ayuda a identificar relaciones de causa y efecto en las propiedades mecánicas del material. Además, el diseño transversal permite realizar estas comparaciones en tiempos específicos, como a los 7, 14 y 28 días, lo que proporciona una visión clara de cómo cambian las propiedades del concreto a lo largo del tiempo.

El alcance exploratorio es útil debido a que este es un campo de estudio poco investigado, con información limitada sobre la aplicación de fibras de banano en concreto. Además,

el método físico se centra en la realización de ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades mecánicas del concreto, mientras que la técnica no probabilística es adecuada porque se busca probar el impacto de diferentes proporciones de fibra, sin necesidad de seleccionar una muestra aleatoria, sino enfocándose en los efectos observados en cada proporción de fibra.

Asimismo, por medio de los ensayos de resistencia se logra recopilar datos numéricos y de esa manera proporcionar información precisa sobre el rendimiento de la fibra en el concreto con relación al concreto convencional.

III. MÉTODOS

Para poder efectuar y realizar el análisis y evaluación de la resistencia a la compresión y flexión de las muestras de cilindro y viga de concreto control y con diferentes porcentajes de fibra de banano, es necesario llevar a cabo una serie de pasos, entre ellos, el proceso de extracción y tratamiento a la fibra de banano, análisis de los agregados finos y gruesos, diseño de mezcla de concreto y pruebas mecánicas

A. Extracción y preparación de la fibra

Tras la cosecha del banano, los pseudotallos — habitualmente desechados en las plantaciones— fueron recolectados de forma manual y seleccionados con base en su color uniforme y la ausencia de daños físicos visibles. Este proceso garantiza que la materia prima sea homogénea y apta para aplicaciones estructurales. Una vez seleccionados, se retiraron cuidadosamente las capas externas utilizando cuchillos o machetes afilados para exponer el núcleo fibroso interno. La extracción de las fibras se realizó manualmente mediante un proceso de cepillado con peines metálicos, diseñado para separar las fibras que se encuentran fuertemente compactadas entre sí en el interior del pseudotallo, facilitando su liberación de los residuos de pulpa adheridos. Posterior a ellos son enjuagadas y puestas al secado

El tratamiento de las fibras extraídas implica un proceso químico con hidróxido de sodio (NaOH) para mejorar sus propiedades. Las fibras se sumergen en una solución de 200 litros de agua y 400 gramos de NaOH durante dos horas, lo que permite eliminar componentes no deseados. Luego, se lavan con agua destilada para remover cualquier rastro de álcalis y se dejan secar durante 24 horas a temperatura ambiente. Este tratamiento busca optimizar las fibras para su uso en aplicaciones estructurales como el concreto, mejorando su durabilidad y adherencia.

B. Análisis de los agregados

Finalmente, el análisis de los agregados, tanto finos como gruesos, es fundamental para el diseño de mezclas de concreto.

Ensayos como el peso volumétrico, la granulometría, la gravedad específica y la detección de impurezas orgánicas permiten conocer las propiedades de los agregados utilizados, en este caso, arena y grava de ¾". Estos resultados son esenciales para garantizar que la mezcla de concreto diseñada cumpla con los requisitos de resistencia de 4000 psi, asegurando la calidad y rendimiento de los especímenes elaborados con la incorporación de la fibra de pseudotallo de banano.

C. Diseño de mezclas

Se elaboraron cuatro mezclas de concreto con diferentes proporciones de fibra (0%, 1%, 1.5% y 2%) siguiendo las directrices de la norma ACI, específicamente la normativa ACI 211.1, la cual hace énfasis en el diseño de mezcla de concreto por medio del método de dosificación por peso. Cada mezcla se evaluó para asegurar que cumpliera con los estándares de consistencia y trabajabilidad. Pruebas mecánicas, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión (ASTM C39) y de flexión (ASTM C78) a los 7, 14 y 28 días de curado para evaluar el rendimiento del concreto reforzado con fibras.

IV. ANALISIS Y RESULTADOS

Dentro del cálculo de la dosificación del concreto se consideran diversos valores obtenidos a partir del análisis de los agregados, tales como el peso volumétrico, peso específico, gravedad específica e impureza orgánica.

Los cálculos correspondientes a la dosificación para el diseño de mezcla de concreto con adición de fibra de pseudotallo de banano se basó en el método de dosificación por peso, establecido en la normativa ACI 211.1-91 para evaluar las cantidades de los componentes del concreto y fibra a emplear para el diseño. La Tabla I se muestran las cantidades obtenidas para la elaboración de las mezclas de concreto con diferentes porcentajes de fibra.

TABLA 1.
DOSIFICACIÓN FINAL DE LA MEZCLA DE CONCRETO.

Mezcla de concreto	Arena (lb)	Grava (lb)	Cemento (lb)	Agua (lts)	Fibra (lb)
Control	84.76	142.40	75.97	12	0
1 % fibra	83.91	142.40	75.97	12	0.85
1.5 % fibra	83.49	142.40	75.97	12	1.27
2 % fibra	83.06	142.40	75.97	12	1.70

A. Revenimiento y Contenido de Aire

Las pruebas de revenimiento y contenido de aire forman parte importante en el análisis del concreto puesto que incide en la trabajabilidad y resistencia.

En la Tabla II se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de revenimiento y contenido de aire en las diferentes mezclas de concreto. Para la mezcla de control se obtuvo un revenimiento de 4.5 pulgadas y contenido de aire del 1.5%. Por otro lado, con la incorporación de 1% de fibra, se disminuyó ligeramente el revenimiento a 4 pulgadas, mientras que el contenido de aire aumento a 1.6%. Añadiendo mayor cantidad de fibra, en este caso, a 1.5% de fibra, el revenimiento baja de forma considerable a 3 pulgadas, y el contenido de aire sube a 2.0%, lo cual indica un incremento en la porosidad del concreto. Por último, con un 2.0% de fibra, el revenimiento se mantuvo en 3 pulgadas, aunque, el contenido de aire vuelve a disminuir a 1.6%.

A partir de los siguientes resultados, se infiere que a medida que se incrementa el porcentaje de fibra añadida al concreto, el revenimiento tiende a reducirse, lo que provoca una menor trabajabilidad de la mezcla, mientras que, por otra parte, el contenido de aire varia, alcanzando un porcentaje máximo del 2%.

TABLA II.
REVENIMIENTO Y CONTENIDO DE AIRE DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

Mezclas de concreto	Revenimiento	Contenido de aire
Control	4.5"	1.5%
1% fibra	4"	1.6%
1.5% fibra	3"	2.0%
2% fibra	3"	1.6%

B. Resistencia a la compresión

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión indican que la muestra control superó la resistencia de diseño de 4000 psi a los 7, 14 y 28 días, alcanzando un valor máximo de 7065.1 psi a los 28 días. Por otro lado, las mezclas con adición de fibra de pseudotallo de banano mostraron una mejora en la resistencia, superando la resistencia de diseño, alcanzando un 132.74% de la resistencia a los 28 días.

Sin embargo, las mezclas con 1.5% y 2% de fibra mostraron resistencias inferiores, por debajo de la resistencia de diseño. En la Tabla III se presentan las resistencias obtenidas de las diversas mezclas a los 7, 14 y 28 días.

TABLA III.
RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

Muestras de Cilindros	7 días	14 días	28 días
Control	4953.7 psi	5766.6 psi	7065.1 psi
1% de Fibra	3530.1 psi	5132 psi	5309.9 psi
1.5% de Fibra	2721.5 psi	3785.9 psi	4284.4 psi
2% de Fibra	2875.5 psi	3897.3 psi	4484 psi

Seguidamente, en la Figura 1, 2 y 3 se desglosan los gráficos comparativos de las resistencias a la compresión de las muestras de concreto a los 7, 14 y 28 días, resaltando la muestra control con mayor resistencia, superando los 4000 psi, seguido por la muestra con 1% de fibra.

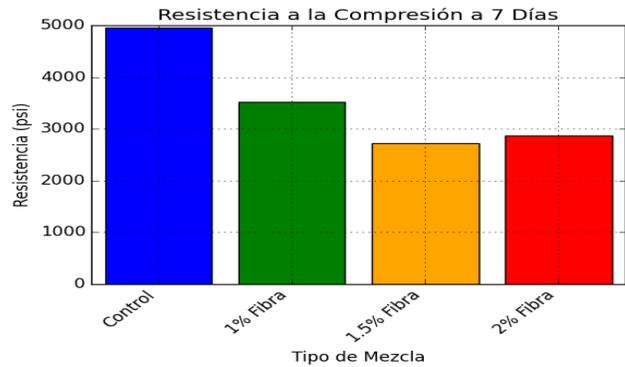


Fig. 1 Resistencia a la compresión a los 7 días

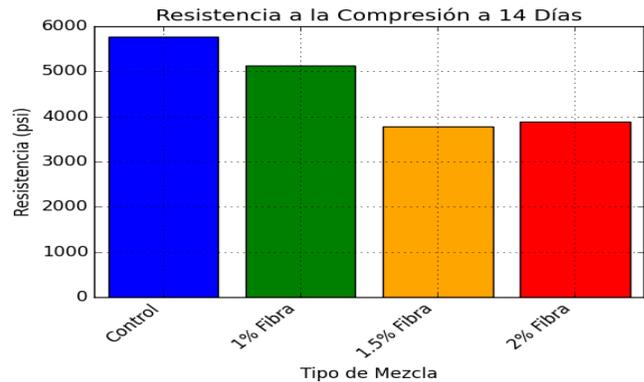


Fig. 2. Resistencia a la compresión a los 14 días

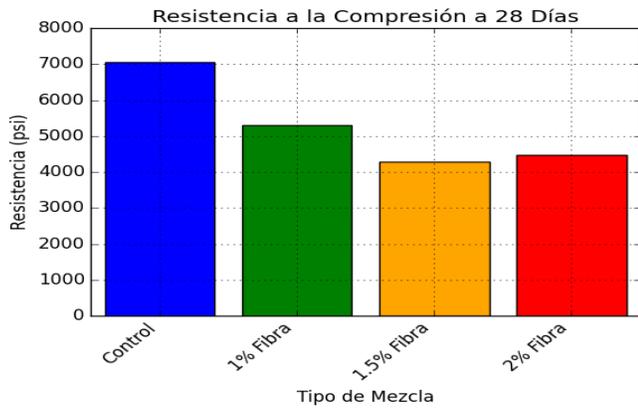


Fig. 3. Resistencia a la compresión a los 28 días

Por otro lado, en la Figura 4 se muestra un gráfico donde se describe el comportamiento de las resistencias de las diferentes mezclas de concreto con adición de fibra versus el tiempo, en días, de curado y ruptura de las muestras, destacando la mezcla con 1% de fibra por alcanzar la resistencia máxima con relación a los demás porcentajes de fibra.

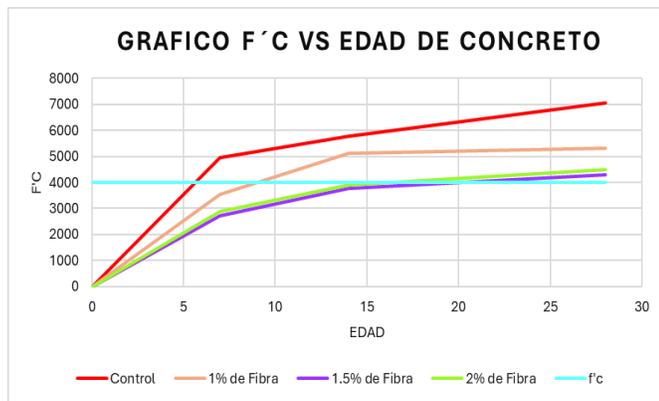


Fig. 4. Grafico f'c vs Edad del concreto

C. Tipos de Fracturas

Los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión de los cilindros de concreto a los 7, 14 y 28 días muestran mayormente fracturas de Tipo 3, que corresponden a fracturas cónicas típicas en ensayos de compresión. En la Tabla IV se especifican los tipos de fracturas obtenidas de las muestras de cilindros de concreto a los 28 días.

TABLA IV.
TIPOS DE FRACTURAS A LOS 28 DÍAS

Muestras de cilindros	Peso (lb)	Resistencia (psi)	Tipo de fractura
Control	8.72	6671.0	Tipo 3
	8.76	7143.4	Tipo 3
1% de Fibra	8.55	4839.4	Tipo 3

	8.59	5443.9	Tipo 3
1.5% de Fibra	8.55	4070.4	Tipo 3
	8.36	3748.9	Tipo 3
2% de Fibra	8.21	3200.8	Tipo 3
	8.10	3096.4	Tipo 3

D. Resistencia a la flexión

Los resultados del análisis de resistencia a la flexión muestran que la viga de control, sin adición de fibra, presentó el mayor rendimiento en comparación con las vigas con fibra de pseudotallo de banano, especialmente a los 28 días, con un módulo de rotura de 735 psi. Las vigas con 1% de fibra mostraron un rendimiento aceptable, logrando un 106.7% del módulo de rotura de diseño. Sin embargo, las vigas con 1.5% y 2% de fibra experimentaron una disminución en la resistencia, especialmente la mezcla con 2% de fibra, que tuvo una caída especialmente a los 7 días, lo que sugiere que un exceso de fibra podría afectar negativamente las propiedades mecánicas del concreto. En la Tabla V se muestran los resultados de las resistencias a la flexión de las muestras de concreto a los 7, 14 y 28 días.

TABLA V.
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Muestras de Vigas	7 días	14 días	28 días
Control	566.7 psi	630.8 psi	735 psi
1% de Fibra	485 psi	622.5 psi	640.2 psi
1.5% de Fibra	561.7 psi	496.7 psi	553.3 psi
2% de Fibra	477.5 psi	563.3 psi	485.3 psi

En la Figura 5, 6, 7 se presenta el siguiente gráfico de barras comparativo donde se establecen los módulos de rotura logrados de las diferentes mezclas de concreto a los 7, 14 y 28 días, donde se destaca la mezcla control y con adición de 1% de fibra con alta resistencia.

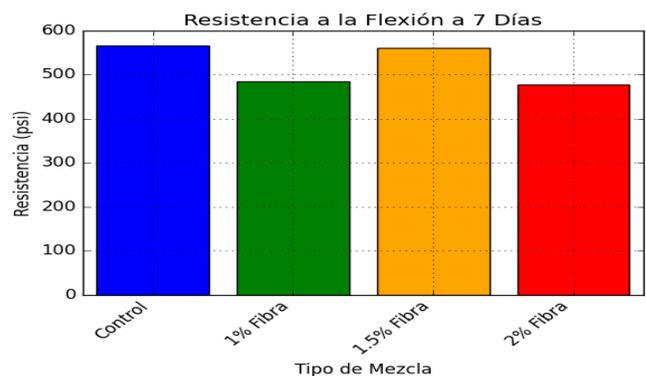


Fig. 5. Resistencia a la flexión a los 7 días



Fig. 6. Resistencia a la flexión a los 14 días



Fig. 7. Resistencia a la flexión a los 28 días

V. CONCLUSION

La incorporación de fibra de pseudotallo de banana en el diseño de mezcla de concreto ha demostrado tener un impacto significativo en las propiedades mecánicas del material.

El tratamiento y extracción manual de las fibras, junto con su aplicación en diferentes proporciones (1%, 1.5%, y 2%), mostró que el concreto con un 1% de fibra logra un equilibrio entre la resistencia a la compresión y la flexión. Aunque la resistencia a la compresión disminuyó con las mayores proporciones de fibra (1.5% y 2%), el concreto con 1% de fibra presentó valores por encima de los 4000 psi a partir de los 14 días, lo que indica una mejora razonable en la durabilidad del material.

Además, la resistencia a la flexión aumentó significativamente con la adición de fibra, lo que mejoró la capacidad del concreto para resistir cargas flexionales. En cuanto a los tipos de fracturas, las pruebas revelaron que la adición de fibra no alteró significativamente el mecanismo de falla del concreto, manteniéndose estable en la mayoría de las muestras con fracturas de tipo 3.

REFERENCES

[1] Orozco, J. J. A., Escudero, K. N. P., Franco, J. G. B., & Sari, T. A. V. (2020). Análisis y evaluación de Hormigones elaborados con "Agua Gris", obtenidos de la Planta San Eduardo de Holcim Ecuador S.A, en

base a los diseños del Hospital del IESS – Los Ceibos, Guayaquil. <https://laccei.org/LACCEI2020VirtualEdition/meta/FP20.html>

[2] Kumarasamy, K., Shyamala, G., Gebreyowhanse, H., & Kumarasamy. (2020). Strength Properties of Bamboo Fiber Reinforced Concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 981(3), 032063. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/3/032063>

[3] Zaki, A., Aprilia, N. C., Rosyidi, S. A. P., & Mahbubi, K. (2024). Evaluation of Coconut Fiber in Corroded Reinforced Self-Healing Concrete Using NDT Methods. NDT, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ndt2030013>

[4] Huaricallo Vilca, Y., Alarcón Cueva, A. J., Regalado Arévalo, O. I., Huaricallo Vilca, Y., & Romero Cueva, Y. J. (2023). Improvement of concrete resistance $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adding steel chips and fiberglass, Cajamarca 2022. LACCEI, 1(8), Article 8. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.559>

[5] Cai, Y., & Liu, Q. (2023). Stability of fresh concrete and its effect on late-age durability of reinforced concrete: An overview. Journal of Building Engineering, 79, 107701. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107701>

[6] Villegas, E., Niato, A., Lagos, S., & Romero, D. (2023). Hormigón fresco y su incidencia en sus propiedades físicas y mecánicas: Fresh concrete and its impact on its physical and mechanical properties. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, 4. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.959>

[7] Bullard, J. W., Jennings, H. M., Livingston, R. A., Nonat, A., Scherer, G. W., Schweitzer, J. S., Scrivener, K. L., & Thomas, J. J. (2011). Mechanisms of cement hydration. Cement and Concrete Research, 41(12), 1208-1223. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011>

[8] Santos, J. R. dos, Oliveira, A. M. de, & Cascudo, O. (2024). Estudo das Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Concretos com Adições Minerais. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, 8(3), 50-60. <https://doi.org/10.25286/rep.v8i3.2174>

[9] Sfikas, I. P., Badogiannis, E. G., & Trezos, K. G. (2014). Rheology and mechanical characteristics of self-compacting concrete mixtures containing metakaolin. Construction and Building Materials, 64, 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.048>

[10] Ahmad, J., Zaid, O., Siddique, M. S., Aslam, F., Alabduljabbar, H., & Khedher, K. M. (2021). Mechanical and durability characteristics of sustainable coconut fibers reinforced concrete with incorporation of marble powder. Materials Research Express, 8(7), 075505. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac10d3>

[11] Edris, W. F., Elbially, S., El-Zohairy, A., Soliman, A. M., Shawky, S. M. M., Selouma, T. I., & Al Sayed, A. A.-K. A. (2024). Examining Mechanical Property Differences in Concrete with Natural and Synthetic Fiber Additives. Journal of Composites Science, 8(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/jcs8050167>

[12] Dadkhah, M., & Tulliani, J.-M. (2022). Damage Management of Concrete Structures with Engineered Cementitious Materials and Natural Fibers: A Review of Potential Uses. Sustainability, 14(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/su14073917>

[13] Shah, I., Li, J., Yang, S., Zhang, Y., & Anwar, A. (2021). Experimental Investigation on the Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Concrete. JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS, 10, 1307-1320. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017513>

[14] Elbehiry, A., Elnawawy, O., Kassem, M., Zaher, A., Uddin, N., & Mostafa, M. (2020). Performance of concrete beams reinforced using banana fiber bars. Case Studies in Construction Materials, 13, e00361. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00361>

[15] Mostafa, M., & Uddin, N. (2015). Effect of Banana Fibers on the Compressive and Flexural Strength of Compressed Earth Blocks. Buildings, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/buildings5010282>

[16] Chen, L., Chen, Z., Xie, Z., Wei, L., Hua, J., Huang, L., & Yap, P.-S. (2023). Recent developments on natural fiber concrete: A review of properties, sustainability, applications, barriers, and opportunities. Developments in the Built Environment, 16, 100255. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100255>