

EFECTO DEL USO DE FIBRAS DE CAÑA DE AZÚCAR Y VIRUTAS DE METAL EN CONCRETO HIDRÁULICO

EFFECT OF THE USE OF SUGAR CANE FIBERS AND METAL SHAVINGS IN HYDRAULIC CONCRETE

Eddisson Francisco Hernández
eddisson.hernandez@uam.edu.ni
<https://orcid.org/0000-0002-9602-5805> 
Universidad Americana

Benjamín José Mayorga
bmayorga7880@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-1855-0011> 
Universidad Americana

Carlos Antonio Conde Medrano
cconde@uamv.edu.ni
<https://orcid.org/0009-0000-1109-3781> 
Universidad Americana

Ian Moisés Moreno Ruíz
immoreno@uamv.edu.ni
<https://orcid.org/0009-0006-5870-6323> 
Universidad Americana

Recibido: 15 enero 2025

Aceptado: 02 marzo 2025

Resumen

El estudio evaluó el efecto del uso de bagazo de caña de azúcar y viruta de acero de torno —dos materiales reciclados— en las propiedades mecánicas del concreto, enfocándose en la resistencia a la compresión y flexión. Se elaboraron mezclas con fibras en proporciones de 0.75% y 1.5%, comparándolas con una mezcla control sin fibras. Los resultados experimentales mostraron que el bagazo de caña de azúcar, debido a su alta porosidad y capacidad de absorción, redujo significativamente la resistencia del concreto, especialmente a mayores concentraciones, afectando el proceso de hidratación del cemento. En contraste, la viruta de acero de torno, por su textura rugosa e inorgánica, presentó mejor adherencia a la matriz del concreto y menores pérdidas de resistencia en comparación con el bagazo, aunque ambas fibras disminuyeron las propiedades frente al concreto control. El estudio concluye que la viruta de acero es más viable como refuerzo, y subraya la necesidad de optimizar proporciones y tratamientos de las fibras para mejorar su rendimiento estructural, promoviendo al mismo tiempo soluciones sostenibles mediante la reutilización de residuos industriales y agroindustriales.

Palabras clave: bagazo de caña, viruta de acero, refuerzo en concreto.

Abstract

This study evaluated the effect of using sugarcane bagasse and lathe steel shavings—two recycled materials—on the mechanical properties of concrete, focusing on compressive and flexural strength. Concrete mixes were prepared with fiber contents of 0.75% and 1.5%, and compared to a control mix without fibers. The experimental results showed that sugarcane bagasse, due to its high porosity and water absorption capacity, significantly reduced concrete strength, especially at higher concentrations, interfering with the cement hydration process. In contrast, lathe steel shavings, owing to their rough, inorganic texture, exhibited better adhesion to the concrete matrix and lower strength losses compared to bagasse. However, both types of fibers resulted in decreased performance relative to the control mix. The study concludes that steel shavings are a more viable reinforcement material, and highlights the need to optimize fiber proportions and pre-treatment methods to enhance structural performance while also promoting sustainable solutions through the reuse of industrial and agro-industrial waste.

Keywords: sugarcane bagasse, steel shavings, concrete reinforcement.

1. Introducción

En la actualidad es común el uso de fibras como refuerzo del concreto utilizando diversos materiales, clasificándose generalmente como fibras metálicas, sintéticas, de vidrio y naturales (Quintero y Castro, 2020). La adición de fibras no es una técnica nueva en el mundo de la construcción, antiguamente se utilizaban materiales como pasto, hilo, vara, e inclusive, pelo animal, los cuales eran agregados al adobe con el fin de evitar la fisuración y mejorar la resistencia a la tensión (Antillón, 2016). Con base en lo anterior, este estudio tiene la finalidad de comparar el desempeño de dos residuos como lo son la fibra de bagazo de caña de azúcar y la fibra de viruta de metal, como una alternativa potencial de reemplazo de fibras sintéticas, con el propósito de mejorar las propiedades del concreto.

En el caso del bagazo de caña, este es el residuo leñoso que resulta después de la extracción del jugo de la caña de azúcar, que en estado fresco contienen un 40% de contenido de agua en relación con su peso seco y suelen utilizarse como combustible en las fábricas azucareras (Osorio *et al.*, 2007). Según Sera *et al.*, (1990), por las características morfológicas y propiedades físico-mecánicas del bagazo de caña de azúcar, se cataloga como un material adecuado para ser usado como fibro-refuerzo en concreto. Hoy en día, agregar fibra de metal al concreto puede mejorar muchas propiedades, como la resistencia a la flexión, la resistencia a la tracción, la resistencia al impacto y la tenacidad, e incluso ayudar a mejorar la resistencia al agrietamiento (Zhou *et al.*, 2021) strength, durability, economic efficiency, and sustainability. Ultra-high-performance concrete (UHPC).

En la actualidad, se encuentra una gran variedad de materiales que pueden ser añadidos a las mezclas de concreto para

mejorar su rendimiento, tales como aditivos y fibras con diferentes composiciones. Sin embargo, muchas de estas adiciones tienen un impacto negativo en el medio ambiente.

En ese sentido este trabajo nace como una iniciativa sobre el uso de desechos como la viruta de metal y la fibra del bagazo de caña de azúcar, como material reciclado en mezclas de concreto, reduzca costos y contribuya con la sostenibilidad ambiental en el sector construcción (Osorio *et al.*, 2007).

2. Diseño Metodológico

2.1 Materiales

2.1.1 Cemento

El cemento utilizado para la elaboración de los especímenes fue el cemento CANAL tipo GU marca CEMEX el cual cumple con los requerimientos establecidos por la Norma ASTM C 1157 - 03 y la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 12006 - 11.

2.1.2 Agregados Pétreos

La obtención de muestras de los agregados se realizó según la norma ASTM D75. Los agregados utilizados en esta investigación fueron obtenidos de PROINCO. El tamaño máximo nominal de la grava utilizada fue de 1/2".

La caracterización de los agregados pétreos se realizó de acuerdo a las normas ASTM C 33-03 (análisis granulométrico de grava), ASTM C 125, ASTM C 70-01, C 127-01 y C 566-04 (absorción, densidad relativa y contenido de humedad) y ASTM C 29-97 (peso volumétrico seco suelto y compacto).

Los resultados de la caracterización de los agregados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Caracterización de los agregados

ID	Agregado	P.V.S.S (Kg/m ³)	P.V.S.C (Kg/m ³)	Absorción (%)	Gravedad específica	Módulo de finura
1	Arena	1384.90	1405.18	4	2.75	2.95
2	Grava	1446.64	1544.71	2.34	2.7	

Fuente: Elaboración propia a partir del año 2024.

2.1.3 Obtención y caracterización del bagazo de caña de azúcar

El bagazo de caña de azúcar se obtuvo del Ingenio San Antonio ubicado en el municipio de Chichigalpa del departamento de Chinandega, Nicaragua. El bagazo que se recolectó es de caña de azúcar común, este subproducto, se obtuvo tras extraer el jugo de la caña en el proceso de molienda y suele representar una fracción importante de los desechos sólidos del ingenio.

2.1.3.1 Tratamiento del bagazo. Las fibras de bagazo de caña de azúcar son producto de reciclaje de la molienda de la caña de azúcar, tienen carácter polar, absorben grandes cantidades de agua, contienen impurezas, polvo y microorganismos (Belén y José, 2019).

Antes de la utilización e implementación de la fibra en mezclas de concreto, se les sometió a tratamientos previos. Primeramente, se lavó la fibra con el objetivo de eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes como polvo, microorganismos y el azúcar, además de, prevenir posibles efectos adversos en las propiedades del concreto. La presencia de microorganismos, por ejemplo, podría favorecer procesos de degradación biológica que comprometan la durabilidad del material compuesto.

Asimismo, la eliminación de glucosa y otros azúcares presentes en las fibras es crucial, ya que estos compuestos actúan como aditivos retardantes en el proceso de fraguado del concreto, pudiendo alterar significativamente los tiempos de endurecimiento y afectar la resistencia final (Alvarez Guillén, 2017).

De esta manera, el lavado asegura que las fibras sean compatibles con la matriz de cemento, garantizando un desempeño adecuado y uniforme en las mezclas diseñadas.

Para el lavado del bagazo de caña azúcar se empleó el tamiz No. 100 (150 μ m), usando agua corriente hasta que el agua de lavada se tornara clara tal como lo establece la norma ASTM C117-13.

Posteriormente, se procedió a secar el bagazo de caña en un horno a temperatura de $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas con el propósito de garantizar la eliminación de humedad residual debido a que una gran cantidad de agua contenida en las fibras podría influir en la relación agua-cemento de las mezclas de concreto. Además, al eliminar la humedad, se inhibe el crecimiento de microorganismos como hongos y bacterias, que podrían degradar la fibra con el tiempo y comprometer su integridad estructural en el concreto.

Debido a la presencia de partículas finas y polvo en el bagazo, este fue sometido a un

proceso de tamizado utilizando un tamiz No. 5 (con aberturas de 4 mm). Este procedimiento tuvo como objetivo principal separar las fibras de mayor tamaño, adecuadas para su uso como refuerzo, y eliminar las partículas finas que podrían interferir en la mezcla de concreto.

2.1.4 Obtención y caracterización de la viruta de acero

La viruta de acero se obtuvo en Metalurgia Blanco ubicado en el departamento de Estelí, Nicaragua. La viruta de acero de torno se obtiene como subproducto del proceso de mecanizado, específicamente durante el torneado de piezas metálicas. Este proceso consiste en la remoción de material de una pieza de acero mediante herramientas de corte, con el objetivo de darle forma, dimensiones o acabados específicos. Las virutas se generan al desprenderse el material como resultado de la interacción entre la herramienta y la pieza en movimiento rotatorio.

2.1.4.1 Tratamiento de la viruta de acero.

Antes de su utilización en mezclas de concreto, las virutas de acero pasaron por un proceso de limpieza para eliminar las impurezas que podrían afectar la calidad del concreto. El primer paso en este tratamiento es el lavado, que se realiza con agua corriente y, en algunos casos, soluciones desengrasantes, con el objetivo de eliminar residuos de aceites y lubricantes utilizados durante el mecanizado.

Este proceso es esencial, ya que la presencia de contaminantes como aceites o metales podría interferir en la adherencia entre las virutas y la matriz de concreto, reduciendo la eficacia del refuerzo.

Seguidamente se procedió a cortar las virutas de acero a tamaños de aproximadamente 5

centímetros como lo hicieron en su estudio Marrok et al., (2024) con el objetivo de obtener fibras de tamaños uniformes que sean adecuadas para su uso como refuerzo en el concreto. Este corte controlado asegura una distribución homogénea en la mezcla y optimiza la adherencia entre las fibras y la matriz de cemento, mejorando así las propiedades mecánicas del material.

2.2 Mezclas de concreto

2.2.1 Diseño de experimentos

La cantidad de especímenes realizados para llevar a cabo la fase experimental de esta investigación fue de 34 cilindros y 12 viguetas de concreto con relación a/c de 0.45. Primeramente, se hicieron 4 cilindros de concreto con el propósito de comprobar las propiedades en estado fresco y endurecido del diseño de mezcla.

Los cilindros de prueba fueron ensayados a los 7 días, logrando una resistencia a la compresión promedio de 20.04 MPa (2906.56 psi), equivalente al 73% de la resistencia objetivo de 4000 psi. Con estos resultados confirmamos que la mezcla de concreto diseñada con esta relación agua/cemento es adecuada, validando que dicha relación puede emplearse de manera confiable en la preparación de los especímenes. El tamaño de los cilindros elaborados fue de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura.

De los 34 cilindros que se hicieron en total, los primeros cuatro fueron de control, se hicieron 3 cilindros de solo concreto a 14 días y 3 a 28 días, Luego se hicieron tres cilindros a edades de 14 y 28 días por cada una de las condiciones detalladas en la Tabla 2.

Tabla 2

Cantidad de especímenes de concreto elaborados

ID	Fibra	% de fibra	Días		Cilindros	Viguetas
			14	28	Total	
1	Bagazo de caña	0.75	3	3	6	3
		1.5	3	3	6	3
2	Viruta de metal	0.75	3	3	6	3
		1.5	3	3	6	3
Total					24	12

Fuente: Elaboración propia a partir del año 2024.

2.2.2 Diseño y elaboración de mezclas para la fabricación de especímenes

El procedimiento utilizado para el diseño de la mezcla de concreto fue el método de volúmenes absolutos establecido en la ACI 211. La relación a/c utilizada según el valor de resistencia a la compresión seleccionada fue de 0.45. El desempeño de los cilindros de prueba refleja un diseño de mezcla correctamente proporcionado, considerando los principios del método ACI 211, que busca optimizar la resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto.

se hizo por varillado según el procedimiento establecido en la ASTM C-31. Se utilizó una varilla de acero que se inserta verticalmente en cada capa de concreto, moviéndola de manera uniforme y realizando al menos 25 varillados por capa. Este proceso asegura una distribución homogénea de la mezcla, eliminando burbujas de aire y evitando la segregación, lo que garantiza la correcta compactación del concreto y la representación precisa de sus propiedades para las pruebas de resistencia.

2.2.3 Propiedades del concreto endurecido

2.2.3.1 Resistencia a la compresión axial.

La resistencia a la compresión axial de los especímenes de concreto se determinó a las edades de 14 y 28 días en una prensa hidráulica marca Controls modelo 50-A39C04, con una capacidad máxima de 3000kN. El ensayo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM C39-03, asegurando el cumplimiento de los criterios técnicos y operativos requeridos.

Las probetas fueron moldeadas en forma de cilindros con dimensiones estándar de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura. Posteriormente, se sometieron a un proceso de curado en condiciones controladas de

Tabla 3

Proporciones para la elaboración de 1m³ de concreto de las mezclas de concreto utilizada.

ID	Materiales	Volumen (Kg)
1	Agregado grueso	820.24
2	Agregado fino	863.50
3	Cemento	480.00
4	Agua	216.00

Fuente: Elaboración propia a partir del año 2024.

Para la elaboración de mezclas se utilizó una mezcladora de concreto tipo trompo y la compactación uniforme de los cilindros

humedad y temperatura, garantizando su adecuada hidratación hasta el momento del ensayo. Antes de la prueba, las superficies de las probetas fueron inspeccionadas para verificar su alineación y evitar concentraciones de esfuerzo que pudieran afectar los resultados.

Durante el ensayo, la carga se aplicó de manera continua y uniforme, con una velocidad controlada según lo establecido por la norma, asegurando la precisión de los resultados obtenidos. Al alcanzar la falla de cada espécimen, se registraron los valores máximos de carga aplicada, los cuales se utilizaron para calcular la resistencia a la compresión axial del concreto a las edades mencionadas.

Figura 1
Máquina para pruebas de compresión



Fuente: Elaboración propia a partir del año 2024.

2.2.3.2 Resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión de las viguetas de concreto se determinó a las edades de 14 y 28 días en una prensa de ensayo por flexión marca Controls modelo 50-C1701/FR. El ensayo se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM C78/C78M-02, asegurando el cumplimiento de los procedimientos técnicos requeridos.

Las viguetas de concreto fueron elaboradas con dimensiones estándar de 150 mm x 150 mm x 500 mm, conforme a los requisitos normativos. Estas se sometieron a un proceso de curado en condiciones controladas de

humedad y temperatura hasta alcanzar las edades de ensayo, garantizando su adecuado desarrollo de resistencia. Antes de las pruebas, se inspeccionaron las superficies y los apoyos de las viguetas para asegurar una distribución uniforme de la carga durante el procedimiento.

El ensayo consistió en aplicar una carga de manera continua y uniforme mediante el método de dos puntos, tal como lo establece la norma, utilizando un sistema de control automático en la prensa. Al momento de la falla, se registró la carga máxima soportada por cada viga, y a partir de estos valores se calculó la resistencia a la flexión del concreto a las edades evaluadas.

Figura 2
Máquina para pruebas de flexión



Fuente: Elaboración propia a partir del año 2024.

3. Resultados y Discusión

3.1 Influencia de las fibras en el concreto

3.1.1 Caracterización de las fibras

La fibra de bagazo de caña de azúcar presenta propiedades físicas y morfológicas que la hacen potencialmente útil como refuerzo en el concreto. Su longitud promedio varía entre 10 mm y 30 mm, con un diámetro irregular debido a su estructura fibrosa. Estas fibras destacan por su alta capacidad

de absorción de agua, que alcanza entre el 200% y el 400% de su peso seco, atribuible a su naturaleza porosa y la composición de celulosa y hemicelulosa.

Además, poseen una textura rugosa que mejora la adherencia con la matriz de concreto, aunque esta característica podría afectar la trabajabilidad de la mezcla si no se tratan adecuadamente. Su baja densidad las convierte en una alternativa ligera, aunque su durabilidad en ambientes alcalinos requiere mayor análisis para garantizar su efectividad a largo plazo.

En términos de su impacto en el concreto reforzado, la fibra de bagazo contribuye a reducir el peso total del material y favorece el control de fisuración gracias a su textura rugosa y porosa. Sin embargo, su naturaleza orgánica plantea desafíos en condiciones alcalinas y en cuanto a la durabilidad a largo plazo. La distribución homogénea de las fibras en la mezcla es esencial para lograr uniformidad en las propiedades mecánicas del concreto, por lo que se necesitan tratamientos y diseños de mezcla optimizados para superar estas limitaciones.

Por otro lado, la viruta de acero, debido a su estructura no porosa e inorgánica, muestra una baja capacidad de absorción de agua. Su textura rugosa y superficie irregular favorecen la adherencia con la matriz de concreto, lo que mejora la resistencia y el control de fisuración. Sin embargo, su alta densidad puede incrementar el peso del concreto, aspecto que debe considerarse en el diseño de mezclas.

En términos de durabilidad, la viruta de acero es más estable en ambientes alcalinos debido a su naturaleza metálica, lo que le confiere mayor longevidad en aplicaciones estructurales. Para garantizar la uniformidad en las propiedades mecánicas del concreto

reforzado, es crucial lograr una distribución homogénea de estas fibras dentro de la mezcla.

3.1.2 Resistencia a la compresión axial

Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión axial de los concretos relación $a/c=0.45$ a las edades de 14 y 28 días se observan en las Figuras 13 y 14. En los especímenes ensayados a los 14 días, se observó una reducción significativa en la resistencia a compresión de los cilindros fabricados con mezclas que incorporaban distintos porcentajes de fibras en comparación con la muestra control.

Las mezclas evaluadas incluían proporciones de 0.75% y 1.5% de fibra de bagazo de caña de azúcar, así como 0.75% y 1.5% de viruta de metal.

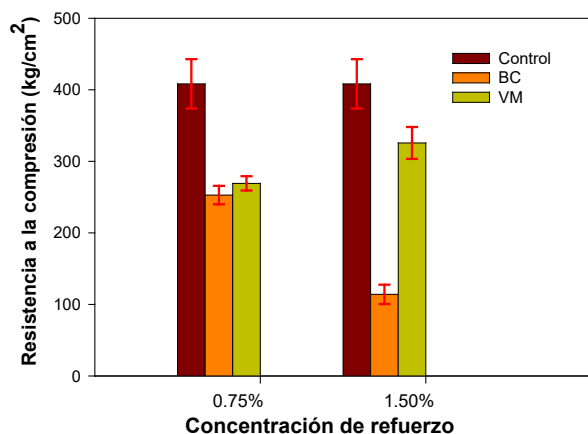
Las reducciones en la resistencia fueron de 44.15%, 77.04%, 45.02% y 27.38%, respectivamente. Entre las muestras analizadas, se constató que la menor resistencia correspondió a la mezcla con 1.5% de fibra de bagazo de caña de azúcar, lo que evidencia el impacto negativo de un alto contenido de este material en la capacidad resistente del concreto.

En contraste, la mezcla con 1.5% de viruta de metal presentó la mayor resistencia dentro de los especímenes con fibras, mostrando un comportamiento más cercano al concreto de control.

También se puede observar que la diferencia de resistencia a la compresión entre los especímenes fabricados con proporciones de 0.75% de fibra de bagazo de caña de azúcar y 0.75% de viruta de metal es poco relevante, con una diferencia de 3.67 kg/cm^2 .

Figura 3

Resultados de resistencia a la compresión axial en especímenes de concreto a 14 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar

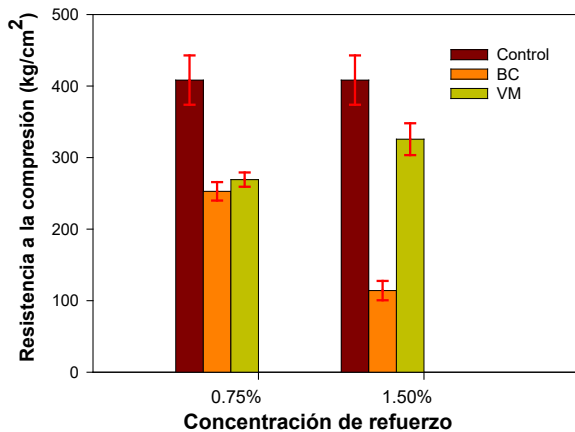


Fuente: Elaboración propia.

En los especímenes ensayados a los 28 días, se observó una mejoría en la resistencia con respecto a los cilindros de edades de 14 días, sin embargo, igualmente hubo una reducción considerable en la resistencia a compresión de los cilindros fabricados con mezclas que incorporaban distintos porcentajes de fibras en comparación con la muestra control. Las mezclas evaluadas incluían proporciones de 0.75% y 1.5% de fibra de bagazo de caña de azúcar, así como 0.75% y 1.5% de viruta de metal. Las reducciones en la resistencia fueron de 38.10%, 72.06%, 34.08% y 20.25%, respectivamente. Entre las muestras analizadas, se constató que la menor resistencia correspondió a la mezcla con 1.5% de fibra de bagazo de caña de azúcar, lo que evidencia el impacto negativo de un alto contenido de este material en la capacidad resistente del concreto. En contraste, la mezcla con 1.5% de viruta de metal presentó la mayor resistencia dentro de los especímenes con fibras, mostrando un comportamiento más cercano al concreto de control.

Figura 4

Resultados de resistencia a la compresión axial en especímenes de concreto a 28 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, se observa una diferencia mayor en comparación con los cilindros de edades de 14 días, entre los especímenes fabricados con proporciones de 0.75% de fibra de bagazo de caña de azúcar y 0.75% de viruta de metal. La diferencia es de 14.42 kg/cm², teniendo una mayor resistencia a la compresión axial los cilindros con proporciones de 0.75% de viruta de metal.

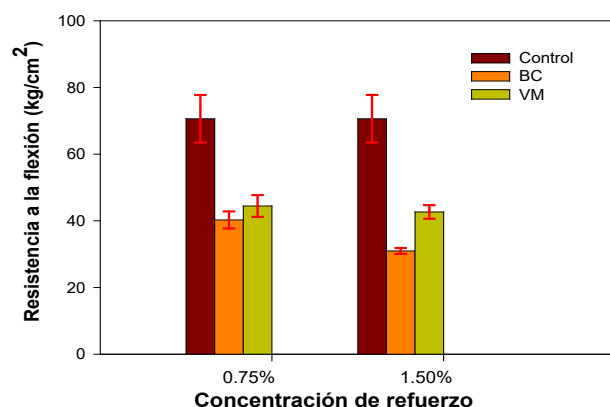
3.1.3 Resistencia a la flexión

Los resultados de la prueba de resistencia a la flexión de los concretos con relación a/c=0.45 a edad de 28 días se observan en la Figura 5. En los especímenes evaluados, se evidenció una reducción significativa en la resistencia a flexión de las viguetas fabricadas con mezclas que incorporaban fibras en comparación con la muestra control. Las mezclas analizadas incluyeron proporciones de 0.75% y 1.5% de fibra de bagazo de caña de azúcar, así como 0.75% y 1.5% de viruta de metal.

Se observó que la menor resistencia correspondió a la mezcla con 1.5% de fibra de bagazo de caña de azúcar, lo cual sugiere un impacto negativo del aumento de este material en la capacidad resistente del concreto. En contraste, la mezcla con 1.5% de viruta de metal mostró una mayor resistencia dentro de los especímenes con fibras, acercándose al comportamiento del concreto de control.

Figura 5

Resultados de resistencia a la flexión en especímenes de concreto a 28 días de edad. Las barras de error indican una desviación estándar



Fuente: Elaboración propia a partir del año 2024.

3.1.4 Relación Flexión/Compresión

En los especímenes evaluados con concentraciones de refuerzo del 0.75%, se observa que la relación flexión/compresión de la muestra control es mayor respecto a las mezclas que incorporan fibras. La diferencia entre los valores del bagazo de caña y viruta de metal con respecto al control es del 8% y el 5%. Estadísticamente, estos valores indican que no existen diferencias significativas entre los valores. En el caso de la fibra de bagazo de caña de azúcar, se evidencia un incremento significativo de esta relación al aumentar la concentración al 1.5%, alcanzando el valor

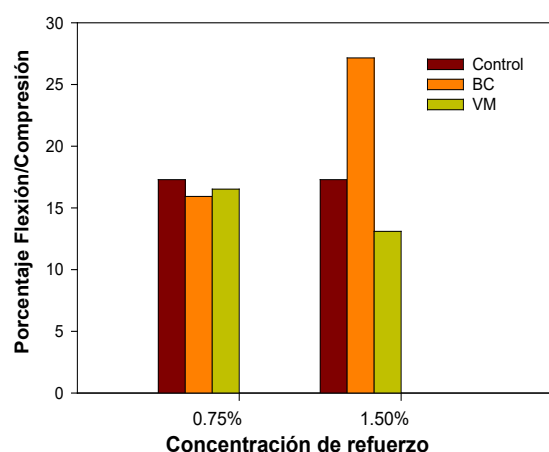
más alto entre las mezclas evaluadas. Este resultado es positivo considerando que para el resto de mezclas, el valor de la resistencia a la flexión no supera el 20% con respecto al valor de la compresión.

La baja resistencia mostrada en compresión puede estar relacionada con el efecto retardante de los azúcares provenientes del proceso de molienda del bagazo de caña, según lo indican algunos estudios. (Hernández et al., 2016)

Por otro lado, las mezclas con viruta de metal muestran valores más bajos en comparación con las de bagazo de caña, especialmente a una concentración del 1.5%. Esto sugiere que, aunque la adición de fibras reduce la capacidad a flexión y compresión del concreto, las fibras de bagazo de caña presentan un mayor efecto sobre la relación flexión/compresión, mientras que las fibras de viruta de metal muestran un comportamiento más uniforme.

Figura 6

Resultados Relación Flexión/Compresión



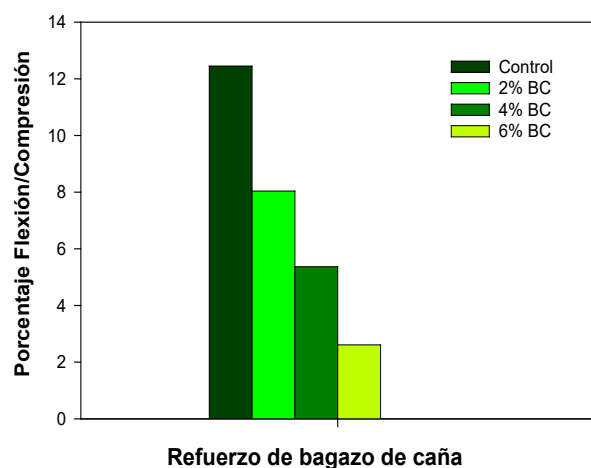
Fuente: Elaboración propia a partir del año 2024.

Comparando estos resultados con los resultados que obtuvieron en otras investigaciones (Figura 7) se observa que la adición de bagazo de caña como refuerzo

en concentraciones crecientes (2%, 4% y 6%) provoca una reducción significativa en la relación flexión/compresión del concreto. A medida que la concentración de fibras de bagazo de caña aumenta, el valor de esta relación disminuye progresivamente de aproximadamente 8% a 2.5%, lo cual indica que una mayor incorporación de estas fibras afecta negativamente las propiedades mecánicas del material.

Figura 7

Relación Flexión/Compresión de referencia con refuerzo de bagazo de caña. (Detán, 2017)



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en los resultados obtenidos en esta investigación (Figura 6), se observa un comportamiento diferente. A una concentración del 1.5%, la relación flexión/compresión muestra un incremento significativo, alcanzando el valor más alto entre las mezclas evaluadas, superando incluso a las fibras de viruta de metal y acercándose a los valores de la muestra control.

Mientras que en el estudio de referencia mayores concentraciones de fibras de bagazo reducen drásticamente la relación flexión/compresión, en este estudio, una concentración controlada y moderada (1.5%) permite que estas fibras mejoren dicha relación, destacándose positivamente.

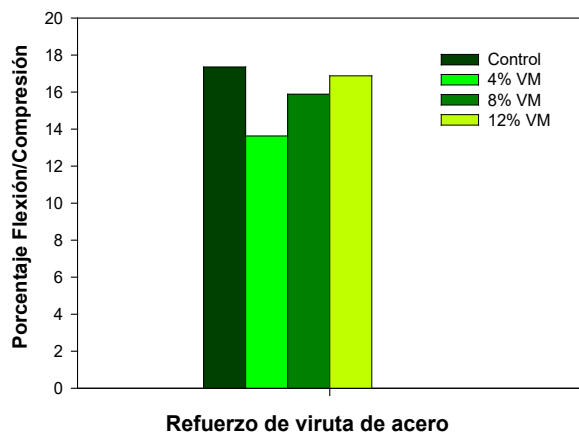
Esto sugiere que el bagazo de caña tiene potencial como refuerzo en concreto, pero su eficacia depende críticamente de su concentración y de las condiciones del material.

En el caso de la viruta de metal, se observa en los resultados que obtuvieron en la investigación de referencia que las concentraciones de 4%, 8% y 12% muestran valores de relación flexión/compresiones relativamente estables en comparación con el control. Aunque la adición de viruta de acero tiende a reducir ligeramente esta relación respecto al control, el efecto no es drástico y presenta un comportamiento más uniforme.

En concreto, a 4% VM, el valor disminuye ligeramente a aproximadamente 13%, mientras que a 8% y 12% VM, los valores se acercan nuevamente al control, alrededor de 15% a 16%, lo cual sugiere que mayores concentraciones no generan variaciones significativas.

Figura 8

Relación Flexión/Compresión de referencia con refuerzo de viruta de acero (Vásquez César, 2021)



Fuente: Elaboración propia

Comparando estos resultados con los obtenidos en esta investigación, se puede interpretar que el refuerzo con viruta de acero presenta un comportamiento más estable y uniforme, incluso cuando se aumenta su concentración (del 4% al 12%).

Sin embargo, la Figura 18, se evidencia que, a pesar de su estabilidad, el desempeño de la viruta de metal es limitado. Su capacidad para mejorar la relación flexión/compresión es menor en comparación con las fibras de bagazo de caña, las cuales muestran un incremento significativo a concentraciones específicas (1.5%).

Esto sugiere que, si bien la viruta de acero ofrece estabilidad, no presenta un impacto tan positivo como el bagazo de caña, que demuestra un mayor potencial como refuerzo para mejorar esta propiedad mecánica del concreto.

4. Conclusiones

Los resultados de la resistencia a la compresión a las edades de 14 y 28 días indican que la incorporación de refuerzos afectó significativamente las propiedades del concreto. En las mezclas con bagazo de caña, la resistencia se redujo en un 70%, mientras que, en aquellas con viruta de metal, la disminución fue del 20%.

En cuanto a la resistencia a la flexión, los resultados muestran que la mezcla con bagazo de caña presentó la mayor reducción, con una disminución del 56% en comparación con el control. Por otro lado, las mezclas con viruta de metal mantuvieron valores de resistencia a la flexión similares en ambas edades de prueba (14 y 28 días).

El análisis de la relación flexión/compresión revela que, a mayor concentración, el refuerzo con bagazo de caña incrementa esta relación hasta en un 30% respecto a la muestra control. En contraste, el uso de viruta de metal tiende a reducir dicha relación a medida que aumenta su concentración.

5. Referencias

- Álvarez Guillén, J. C. (2017). *Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto* [Tesis, Univesidad de San Carlos, Guatemala] <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Antillón, J. (2016). Uso de fibras en el concreto. *Revista IMCYC (Instituto Mexicano Del Cemento y Del Concreto)*, 2.
- Paricaguán M., B. & Muñoz Cuevas, J. (2019). Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Revista Ingeniería UC*, 26(2), 202–212. <http://>

- www.servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v26n2/vol26n22019.pdf
- Hernández, E. F., Cano-barrita, P. F. D. J., & Torres-acosta, A. A. (2016). Influence of cactus mucilage and marine brown algae extract on the compressive strength and durability of concrete. *Materiales de Construcción*, 66(321), 14.
- Marrok, S., Belachia, M., Kherraf, L., Salhi, M., & Khaldi, N. (2024). *Investigating the Impact of Stainless Steel Shavings Fibers 316L on Enhancing the Properties of High-Flow Sand Concrete in the Long-Term*. 48(4), 529–537.
- Osorio, J., Varón, F., & Herrera, J. (2007). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. Revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. 74(153)
- Quintero, Y., & Castro, H. (2020). *Influencia de las Fibras Metálicas, Naturales (Bagazo De Caña De Azúcar), sintéticas y de vidrio en el mejoramiento de las Propiedades Mecánicas del Concreto*.
- Sera, E., Robles, L., & Pama, R. (1990). Ferrocement floating house for low-income families of Klong Toey, Bangkok, Thailand. *Journal of Ferrocement*, 20(2), 133–142.
- Vásquez Cèsar. (2021). *Efecto en los esfuerzos a flexión y compresión con la adición de viruta de acero a la mezcla de concreto*. 1–110.
- Zhou, M., Wu, Z., Ouyang, X., Hu, X., & Shi, C. (2021). Mixture design methods for ultra-high-performance concrete - a review. *Cement and Concrete Composites*, 124, 104242. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2021.104242>