



Universidad **Mariana**

Evaluación del Impacto de Fibras de Material Reciclado y Naturales en la Resistencia del
Concreto.

Bayron Danilo Coral Moreno

Deivy Jairo Melo Melo

Jairo Alejandro Viveros Timana

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

San Juan de Pasto

2024

Evaluación del Impacto de Fibras de Material Reciclado y Naturales en la Resistencia del
Concreto.

Bayron Danilo Coral Moreno

Deivy Jairo Melo Melo

Jairo Alejandro Viveros

PhD. Diego Valencia Enríquez

Asesor

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
San Juan de Pasto

2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007

Universidad Mariana

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Resumen de la propuesta	12
1.1 Formulación del problema	12
1.2 Justificación.....	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos Específicos	13
1.4 Fundamentación teórica	13
1.4.1. Estado del Arte	13
1.4.2 Marco teórico	16
1.5 Metodología	21
1.5.1 Descripción de materiales	22
1.5.2 Caracterización de los materiales	29
2. Interpretación de resultados.....	31
2.1 Métodos Analíticos.....	31
2.1.1 Objetivo 1.....	31
2.1.2 Objetivo 2.....	35
2.1.3 Objetivo 3.....	39
2.2 Resultados obtenidos en los ensayos de flexión.....	40
2.3 Productos generados.....	48
3. Conclusiones.....	50
4. Recomendaciones	51
Referencias Bibliográficas	52

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Agregado fino	23
Figura 2. Agregado grueso	24
Figura 3. Cuarteo de los agregados	26
Figura 4. Trapiche de donde se extrajo el bagazo de caña para la fabricación de fibras	28
Figura 5. Fibras de bagazo de caña sin proceso de curado	29
Figura 6. Cultivos de donde se extrajo la cuerda pita para su posterior figurado a fibras	32
Figura 7. Fibras de cuerda pita	33
Figura 8. Fibras de bagazo de caña tras proceso de curado	35
Figura 9. Proceso de encofrado para especímenes de prueba	36
Figura 10. Ensayos a flexión en especímenes de prueba. Con fibras cuerda pita	38
Figura 11. Ensayo a flexión en espécimen de prueba con fibras de bagazo de caña	38

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Límites de gradación de Agregado Fino.....	26
Tabla 2. Proporciones iniciales del diseño de mezcla	27
Tabla 3. Normas que rigen el proyecto de investigación	39
Tabla 4. Resistencia a la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple con carga en el tercer punto. ASTM C78	41

Índice de Gráficas

	Pág.
Grafica 1. Módulo de ruptura vs. % Fibras.....	43
Grafica 2. Carga vs. % fibras.	44
Grafica 3. Tiempo vs. % Fibras.....	45
Grafica 4. Módulo vs Carga.	46
Grafica 5. Módulo vs Carga.	47

Resumen

El objetivo principal de la investigación es evaluar cómo la adición de fibras de bagazo de caña y cuerda pita reciclada afecta las propiedades del concreto simple, con la idea de que estas fibras puedan ser utilizadas de manera efectiva en diversas estructuras.

En el campo de la construcción, el concreto hidráulico es esencial, y se han realizado numerosos estudios sobre cómo las fibras, ya sean naturales o artificiales, pueden mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

El proceso de investigación implicó diseñar una mezcla de concreto simple incluyendo fibras de bagazo de caña y de reciclaje, considerando los materiales a utilizar. Se realizaron pruebas de mezcla para asegurar que el concreto fuera manejable y tuviera la resistencia adecuada.

El estudio inicio con una muestra piloto para determinar si los especímenes evaluados proporcionaban datos representativos. Posteriormente, se realizó un experimento incorporando diferentes cantidades de fibras por metro cúbico de concreto simple, esto permitió analizar cómo las fibras afectaban el módulo de rotura y la resistencia a la compresión.

Se realizó una comparación de las resistencias obtenidas y se evaluó qué tipo y cantidad de fibras serían más adecuadas para mejorar la resistencia en diversas pruebas. Se elaboraron recomendaciones sobre el uso de estos tipos de fibras para futuros estudios en el campo.

Palabras claves: Concreto, fibras, flexión, resistencia.

Abstract

This research aims to evaluate the impact of steel fibers on plain concrete and their behavior as an integral part of any type of structure.

Within the field of civil works construction, hydraulic concrete is perhaps the most widely used material, and therefore various types of research have focused on evaluating the behavior of its physical-mechanical properties by incorporating natural or artificial fibers.

The design of the plain concrete mix was carried out, based on the correct analysis of the materials to be used, and with their respective test mixes to evaluate workability and strength.

To obtain reliable results in the development of the research, a pilot sample is used to indicate if the specimens evaluated are conclusive enough to obtain reliable and representative data. Additionally, the incorporation of fibers in different quantities per cubic meter of plain concrete is experimentally carried out to verify their incidence in the new product, thus carrying out the corresponding analyses in terms of modulus of rupture and compressive strength.

Once the final product is obtained, an economic estimation is performed, which takes as its base price the value per cubic meter of plain concrete, and the increase in direct costs as the amount of fiber added per m³ of fiber-reinforced concrete varies.

To correlate the values obtained in terms of compressive strength with their respective modulus of rupture equivalent, we start from statistics and its tools to obtain, through different regressions, a reliable correlation coefficient that relates the two variables being analyzed.

Keywords: Concrete, fibers, flexural, strength.

Introducción

La construcción de estructuras de concreto es una práctica común en la industria de la construcción y uno de los elementos más utilizados en la construcción es el hormigón. El hormigón tradicional puede presentar limitaciones en cuanto a su resistencia a la tracción, esto puede causar grietas y fisuras en las estructuras. Sin embargo, se han desarrollado soluciones para mejorar esta situación, por ejemplo, se ha optado por agregar fibras de bagazo de caña y de reciclaje a la mezcla de concreto actúa como refuerzo disperso, fortaleciendo la matriz y previniendo la formación de grietas (Zerbino, 2020).

Las fibras de refuerzo se han utilizado en la construcción de estructuras de concreto durante las últimas décadas y se han demostrado efectivas para mejorar la resistencia y la durabilidad de las estructuras (NTC tiene normativas o guías que especifica su implementación). Las fibras se agregan a la mezcla de concreto para proporcionar resistencia a la tracción y mejorar la capacidad de soporte de carga de la estructura. En los últimos años, el interés por el uso de fibras en la construcción de estructuras de concreto ha incrementado. La mezcla de concreto con fibras es ampliamente utilizada en la construcción de estructuras de soporte de carga, como columnas, pilares y muros, teniendo esto en cuenta la adición de fibras puede mejorar significativamente la resistencia y la durabilidad de estos elementos estructurales, reduciendo la aparición de grietas y fisuras y mejorando la capacidad de carga (Aidarov et al., 2019).

Con base con la información anterior, la implementación de fibras para reforzar el concreto es altamente beneficioso para la construcción, en este sentido, el objetivo principal de este trabajo de grado es evaluar el efecto de la adición de fibras en la resistencia y la durabilidad del concreto, y para ello, se examinaron diversos tipos de fibras, como las fibras de bagazo de caña y de reciclaje, además, se evaluaron sus características y propiedades, así como las técnicas de mezcla y colocación de los cilindros de concreto reforzado con fibras, para lograr dicho objetivo, se adicionó fibras de bagazo de caña y de reciclaje con diferentes dosificaciones que van de “0.2, 0.5, 0.8” las cuales se espera que mejoren las características mecánicas de las estructuras de concreto reforzado. Este tipo de adición de fibras podrían abarcar variables como la resistencia a la compresión, la

resistencia a la tracción y la ductilidad del concreto, en función de las propiedades de las fibras y otros parámetros relevantes.

Este proyecto de investigación no solo representa un avance en el uso de fibras de bagazo de caña y de reciclaje en la construcción de estructuras de concreto, sino que también puede servir como una valiosa herramienta para futuras generaciones de investigadores. Los resultados obtenidos podrían marcar el inicio de investigaciones más amplias sobre el empleo de fibras en diversos tipos de elementos estructurales y aplicaciones de construcción, contribuyendo así al avance y desarrollo continuo en este campo.

1. Resumen de la propuesta

1.1 Formulación del problema

¿Cuál es la incidencia de las fibras de bagazo de caña y de reciclaje como refuerzo para el concreto?

1.2 Justificación

Dentro del campo de acción del Ingeniería civil, se utiliza concreto en la mayoría de las obras, que de acuerdo con su diseño este tendrá diferentes características; con el avance de la tecnología e investigaciones sobre el tema, al concreto se le ha ido incorporando gradualmente diferentes materiales con el fin de buscar el mejor desempeño y rendimiento del producto (Jaimes et al., 2020).

Debido a las ventajas que ofrece el empleo de fibras en la elaboración de mezclas de concreto está ganando popularidad en la industria de la construcción debido a los beneficios que ofrece en términos de resistencia y durabilidad. Las fibras de bagazo de caña y de reciclaje representan una solución innovadora que se está considerando para mejorar la calidad y aumentar la resistencia y durabilidad de las estructuras de concreto. El diseño de una mezcla de concreto reforzado con fibras es un proceso crucial para asegurar un comportamiento estructural óptimo. La distribución adecuada de las fibras en la mezcla es fundamental para lograr una resistencia a la tracción, mayor capacidad de absorción de energía y resistencia al agrietamiento (Córdova et al., 2019).

La incorporación de fibras de bagazo de caña y de reciclaje al concreto conlleva a obtener un nuevo producto que probablemente mejore los resultados en el medio de la construcción. Para este trabajo de investigación se analizó la influencia de las fibras de bagazo de caña y de reciclaje (las cuales se obtienen de los cultivos de arveja) en una mezcla de concreto hidráulico, su desempeño y mejoras en las propiedades de la misma (Córdova et al., 2019).

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Estudiar la relación de la resistencia del concreto con la adición de diferentes cantidades de fibras de material reciclado y naturales en especímenes de prueba.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Producir fibras a partir de dos materiales diferentes: bagazo de caña y cuerda pita sintética reciclada para incluir en los especímenes de prueba.
- Evaluar la influencia de una cantidad controlada de fibras en la resistencia del concreto a través de pruebas de flexión en especímenes de prueba diseñados.
- Comparar la resistencia de los especímenes de prueba para obtener una relación óptima del mejor contenido de fibras en los especímenes de prueba.

1.4 Fundamentación teórica

1.4.1. Estado del Arte

El concreto constituye un capítulo fundamental en la historia de la construcción, cuando el hombre optó por construir edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. A lo largo de la historia, se ha logrado constituir una mezcla bien definida en sus componentes, dando paso a una idea universal de lo que es el concreto, cómo se produce y que tanto se puede transformar sin dejar de lado la idea general de lo que es. (Vidaud, 2013).

Estudios referentes al efecto de adición de fibras mencionan que las fibras de acero se utilizan comúnmente en la construcción de estructuras de concreto reforzado en América Latina debido a su capacidad para mejorar significativamente la resistencia a la flexión y la tenacidad del concreto. Además, las fibras de acero también pueden reducir la formación de grietas en el concreto, lo que aumenta la durabilidad y la vida útil de la estructura. En general, la adición de fibras de acero al concreto es una técnica eficaz para mejorar su capacidad para resistir cargas de tensión y flexión,

lo que lo hace más resistente y duradero en situaciones donde la estructura debe soportar cargas considerables (Córdova et al., 2019).

También, la incorporación de fibras sintéticas en el concreto ha demostrado ser una técnica eficaz para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, incluyendo la resistencia a la tracción y la flexión, y la durabilidad. Según Javadiano et al., (2016) la presencia de fibras en el concreto aumenta la energía de fractura y la capacidad de absorción de energía del material. Además, las fibras sintéticas pueden mejorar la resistencia a la fatiga y la resistencia al desgaste del concreto. Por lo tanto, el uso de fibras sintéticas en la construcción de edificios y estructuras de concreto se ha vuelto cada vez más popular en Europa en los últimos años (Javadiano et al., 2016).

La integración de fibras de acero inoxidable en el concreto puede tener un efecto significativo en la resistencia del material a cargas de tensión y flexión en la construcción de estructuras. En donde las fibras de acero inoxidable aumentaron la capacidad de carga y la tenacidad del concreto en comparación con el concreto sin fibras, lo que puede resultar en una mayor durabilidad y vida útil de las estructuras. También, destacaron que el uso de fibras de acero inoxidable puede reducir la necesidad de refuerzo adicional, lo que puede simplificar el proceso de construcción y reducir los costos asociados (Javadiano et al., 2016).

El cemento Portland es conocido por su capacidad de fraguar y endurecer tanto en presencia de agua como en ambientes húmedos o bajo el agua, lo que lo hace ideal para una amplia variedad de aplicaciones, desde la fabricación de concreto hasta morteros y estucos. Su dosificación cuidadosa en las mezclas de concreto permite obtener diferentes propiedades y comportamientos, como resistencia a la compresión, durabilidad y trabajabilidad (Córdova et al., 2019).

Este tipo de cemento se produce mediante la molienda de clínker, que es un material pétreo pulverizado obtenido de la cocción de una mezcla de caliza y arcilla a altas temperaturas en un horno. El clínker se muele finamente y luego se mezcla con yeso para regular el tiempo de fraguado, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones en la construcción (Córdova et al., 2019).

En la construcción de estructuras de concreto, la resistencia y durabilidad son características fundamentales que garantizan su estabilidad y seguridad a largo plazo. Por esta razón, la distribución de fibras en el concreto es un factor crítico que debe ser considerado cuidadosamente. La presencia de fibras en la mezcla de concreto puede mejorar su capacidad para resistir cargas de tensión y flexión, y así aumentar su resistencia y durabilidad; sin embargo, la distribución homogénea de las fibras en la mezcla es esencial para garantizar una distribución uniforme de las cargas en toda la estructura. Para lograr una distribución óptima de las fibras, se han desarrollado técnicas de mezclado mejoradas, como la agitación de alta energía y la agitación neumática, que permiten una mejor dispersión de las fibras en la mezcla de concreto. Estas técnicas pueden mejorar significativamente la calidad del concreto y reducir el riesgo de fallas estructurales. En resumen, la distribución adecuada de fibras en la mezcla de concreto es un factor clave para garantizar la resistencia y durabilidad de las estructuras construidas con este material, y la utilización de técnicas de mezclado mejoradas puede ayudar a mejorar significativamente su distribución y calidad en general (Silva, 2024).

Cabe resaltar que la adición de fibras en el concreto hidráulico, se ha encontrado que la variabilidad en la distribución de las fibras en el concreto puede ser causada por muchos factores, incluyendo el tamaño y la forma de las partículas de agregado, la viscosidad del cemento, la velocidad de mezclado y la cantidad de agua utilizada. Por lo tanto, es importante investigar y desarrollar técnicas de mezclado mejoradas para optimizar la distribución de las fibras y mejorar la calidad del concreto. Además, se debe prestar especial atención a la dosificación de las fibras, ya que una cantidad insuficiente puede resultar en una distribución desigual de las fibras, mientras que una cantidad excesiva puede afectar negativamente la calidad general del concreto. Por tanto, la optimización de la dosificación de las fibras es esencial para mejorar la homogeneidad de la distribución de fibras en el concreto y, por tanto, aumentar su resistencia y durabilidad (Silva, 2024).

Estudios referentes al efecto de adición de fibras hablan del análisis sobre el efecto que produce el incluir fibras sintéticas como polipropileno, vidrio, nylon y PET, en la fisura miento de las mezclas de concreto en estado plástico y su fraguado, como agentes que reducen en cierta medida (variando el tipo de material) el desgaste y deterioro de las estructuras de concreto por el método

de Kraai. Este estudio demuestra en gran medida las ventajas que pueden evidenciarse por ensayos de laboratorio los múltiples beneficios que el compuesto fibra/cemento puede lograr con un correcto equilibrio entre el volumen y material (Sandoval, 2016).

Integrar fibras en el concreto se muestra como un método eficaz para realzar sus características y contrarrestar su tradicional debilidad en términos de resistencia a la tracción. Esta fortificación en su solidez y longevidad no solo extiende la duración de las estructuras, sino que también asegura un material más sólido y confiable en el contexto de la construcción. (Gencel et al., 2011).

Las fibras de acero son utilizadas de manera más recurrente debido a su alta resistencia y durabilidad. Estas fibras mejoran la capacidad del concreto para soportar cargas de flexión y tracción, y también ayudan a prevenir la formación y propagación de fisuras en el concreto. Las fibras de vidrio, por otro lado, son más ligeras y tienen una mayor resistencia a la corrosión que las fibras de acero, lo que las hace ideales para su uso en ambientes corrosivos. Gencel et al. (2011) afirma que las fibras de polímero tienen una excelente resistencia, y son ideales para su uso en ambientes corrosivos y ambientes donde se requiere una alta resistencia a la fatiga. Las fibras naturales, como las de coco o de bambú, bagazo de caña son una opción más sostenible y ecológica que las fibras sintéticas, y también pueden mejorar las propiedades mecánicas del concreto; además de mejorar la resistencia a la tracción del concreto, la adición de fibras también puede mejorar otras propiedades del concreto, como su resistencia a la abrasión y al impacto, su capacidad de absorción de energía y su capacidad de resistir la fatiga y las cargas cíclicas. También puede reducir la contracción por secado y mejorar la resistencia a la formación de fisuras (Gencel et al., 2011).

1.4.2 Marco teórico

Cada tipo de fibra tiene sus propias características y propiedades, por lo que es importante elegir la fibra adecuada en función de las necesidades específicas del proyecto de construcción. La cantidad de fibra que se agrega a la mezcla de concreto también es importante, ya que un exceso de fibra puede afectar la maleabilidad y la resistencia del concreto (Miravete, 1995).

1.4.2.1 Tipos de fibras. Existen varios tipos de fibras que se utilizan como refuerzo en el concreto, entre los que destacan las fibras de acero, las fibras sintéticas y las fibras de vidrio. Las

fibras de acero tienen una alta resistencia a la tracción y son muy efectivas para mejorar la resistencia a la flexión del concreto. Las fibras sintéticas, por su parte, las alternativas que son más asequibles en términos de costos y que también demuestran su eficacia son las que permiten disminuir la aparición de fisuras en el concreto. Las fibras de vidrio también son una opción común y tienen una alta resistencia a la tracción y a la flexión. Además de las fibras de acero, sintéticas y vidrio, existen otras fibras que se pueden utilizar en el concreto (Pachón, 2017). A continuación, se describen algunos de los tipos de fibras más comunes:

Fibras de polipropileno. Son fibras sintéticas que se utilizan para mejorar la durabilidad y la resistencia al agrietamiento del concreto. Estas fibras son muy efectivas para prevenir la formación de fisuras por contracción y por cambios de temperatura (Pachón, 2017).

Fibras de acero. Son fibras sintéticas con una alta resistencia a la tracción y a la compresión. Estas fibras se utilizan en la construcción de estructuras de concreto reforzado, como puentes y edificios de gran altura (Pachón, 2017).

Fibras de Bagazo de Caña. El bagazo de caña se refiere a los residuos fibrosos que quedan después de exprimir el jugo de caña de azúcar para la producción de azúcar o etanol. Estos residuos suelen ser desechados, pero se pueden aprovechar como una fuente de fibras naturales para reforzar el concreto. Estas fibras pueden mejorar la resistencia y la tenacidad del concreto, así como reducir las fisuras por contracción y mejorar la resistencia a la abrasión. Su uso es una forma de reutilizar un subproducto agrícola (Ocampo, 2015).

Fibras Recicladas de Cultivos de Arveja. En el caso de las fibras recicladas de cultivos de arveja, se trata de reutilizar las fibras con las cuales se da soporte a las plantas de arveja para su crecimiento después de la cosecha (Ocampo, 2015).

1.4.2.2 Propiedades mecánicas y resistencia del concreto. Agregar fibras al concreto es una táctica efectiva para fortalecer tanto la resistencia como la durabilidad de las estructuras. Al utilizar fibras como refuerzo en el concreto, se mejora la capacidad para resistir cargas de tensión y flexión, lo que a su vez incrementa su resistencia y durabilidad. La evaluación de la efectividad de las fibras

como refuerzo en el concreto suele llevarse a cabo mediante pruebas de resistencia a la tracción (Gencel et al., 2011).

Las fibras de acero tienen una alta resistencia a la tracción y son muy efectivas para mejorar la resistencia a la flexión del concreto. Las fibras de acero pueden ser cortas o largas, y su diámetro puede variar de 0.25 a 1.0 mm. Las fibras de acero de alta resistencia son muy efectivas para mejorar la resistencia a la tracción del concreto, y se utilizan comúnmente en la construcción de elementos estructurales como puentes, túneles y edificios de gran altura (Mohamed y Khaled, 2021).

Las fibras sintéticas, por su parte, son una opción más económica y son efectivas para reducir la formación de grietas en el concreto. Las fibras sintéticas pueden ser de varios tipos, como polipropileno, nylon y poliéster. Las fibras sintéticas son especialmente efectivas en la reducción de la formación de grietas en el concreto debido a su alta resistencia al desgaste y a la abrasión (Mohamed y Khaled, 2021).

En general, la adición de fibras al concreto, mejora significativamente las propiedades mecánicas del material, especialmente su resistencia a la tracción y la durabilidad. Las fibras de acero, sintéticas y de vidrio son las opciones más comunes para la adición de fibras en el concreto, cada una con sus propias ventajas y desventajas dependiendo de la aplicación específica (Lange y Karihaloo, 1997).

Aplicaciones de la mezcla de concreto reforzada con fibras. El concreto reforzado con fibras es ampliamente utilizado en la construcción de estructuras de soporte de carga, como columnas, pilares y muros. La adición de fibras puede mejorar significativamente la resistencia y la durabilidad de estos elementos estructurales, como muros, pavimentos, vigas, en otras, así reduciendo la aparición de grietas y fisuras y mejorando la capacidad de carga (Apaza y Goberich, 2022).

Tipos de concreto.

1.4.2.3 Concreto hidráulico. El concreto hidráulico está compuesto principalmente por cemento Portland, con agregados gruesos y finos, agua, aire atrapado o incluido intencionalmente, además de cierta cantidad de aditivos que se utilizan dependiendo del tipo de uso que requiera la mezcla (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

1.4.2.4 Concreto fibroreforzado. El propósito de estas fibras es mejorar las propiedades mecánicas del concreto ordinario, brindándole una resistencia adecuada a la tracción. Al estar uniformemente distribuidas en el concreto, funcionan como una microarmadura. Por un lado, reducen la fisuración causada por la retracción, y por otro lado, aumentan significativamente la ductilidad del material. Esto se fundamenta en el reconocimiento de que el concreto presenta limitaciones inherentes, como su naturaleza frágil y su baja capacidad de deformación antes de fracturarse. Esta fragilidad limita su resistencia a la tracción en comparación con su resistencia a la compresión.

Características del concreto fibroreforzado

Ventajas:

Según el trabajo final de grado “Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón” realizada en la universidad politécnica de Valencia, se manifiestan las ventajas de la incorporación de las fibras naturales en el hormigón reforzado (Santillán, 2020).

Estructurales:

- Mayor control de fisuras.
- Menor permeabilidad.
- Mejora la ductilidad del concreto.
- Mejor resistencia a la fatiga.
- Rápida y sencilla aplicación.

- Mejora el comportamiento y estabilidad de las juntas.
- Permite reducir el número de juntas de retracción.
- No requiere de tratamientos especiales, se aplican las técnicas tradicionales de extendido y acabado.
- Mejora la resistencia a tracción, flexión y corte, produciendo un aumento de la capacidad portante.
- Según otros investigadores permite ahorros de material ya que para revestimientos proyectados con concreto reforzado con fibras, los espesores pueden disminuirse conservando las mismas propiedades (Santillán, 2020).

Constructivas:

- Refuerzo ubicado correctamente en la estructura.
- Reducción en el tiempo de ejecución de la obra.
- Facilidad de manipulación (Santillán, 2020).

Algunas aplicaciones del concreto fibroreforzado.

- **Pavimentación:** Las placas de concreto se encuentran sometidas a una elevada concentración de esfuerzos de tracción, originados por diversos factores como la deficiencia en la hidratación, la retracción y las condiciones climáticas. Estos esfuerzos, que se producen durante la etapa de endurecimiento, son insuficientemente contrarrestados por un concreto sin refuerzo. Las placas, al estar expuestas a cargas dinámicas considerables, ya sean puntuales o distribuidas, experimentan deformaciones que se transmiten a la subbase y, posteriormente, al suelo (González y López, 2013). La incorporación de fibras de bagazo de caña y de reciclaje al concreto simple se centra en el control de la formación y extensión de grietas, la reducción de la mano de obra, el aumento de la resistencia a la flexión y la distribución homogénea de las fibras en la mezcla, entre otros beneficios. Este tipo de concreto ha demostrado ser altamente efectivo en diversas aplicaciones, incluidos varios tipos de pavimentos:

- Pavimentos industriales.

- Pistas de Aeropuertos.
- Grandes autopistas.
- Reparación de superficies.

- **Prefabricados:** El concreto fibroreforzado destaca principalmente por su capacidad para reducir la necesidad de refuerzo secundario, lo que lo convierte en una opción altamente eficiente para elementos prefabricados. Esto significa que, en comparación con el concreto convencional, requiere menos barras de refuerzo adicionales para lograr la misma resistencia y estabilidad estructural. Esta característica no solo simplifica el proceso de fabricación de elementos prefabricados, sino que también reduce los costos asociados con el material y la mano de obra necesaria para su instalación.

- Dovelas.
- Pequeños tanques de agua.
- Sumideros.
- Fundación tipo zapata (González y López, 2013).

El marco legal que rige los procedimientos, características y especificación que se llevarán a cabo hasta la fecha que se realiza esta investigación, constata lo siguiente.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Norma técnica colombiana (NTC).

1.5 Metodología

En la metodología, se destacó la importancia de adherirse a las normas detalladas en la Tabla 3. Estas normas sirvieron como guía tanto para la preparación de la mezcla utilizada en las vigas como para el procedimiento de las pruebas realizadas en los especímenes. Con el propósito de alcanzar de manera óptima los objetivos establecidos, se emplearon los siguientes materiales y se ejecutaron las siguientes actividades.

1.5.1 Descripción de materiales

Para el desarrollo de esta investigación, se realizó la selección de materiales que se emplearan en la mezcla de trabajo, los materiales seleccionados fueron:

- Cemento Portland tipo 1 de ARGOS.
- Arena negra lavada proveniente de la cantera ROSAPAMBA.
- Gravilla tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ ", proveniente de AGRESUR, en Pilcuan.
- Fibras generadas del bagazo de caña provenientes de Samaniego Nariño.
- Fibras generadas del reciclaje provenientes de cultivos del corregimiento de José María

Hernández.

Estos materiales fueron acopiados dentro de las instalaciones de Alvernia y protegidos de las posibles contaminaciones que se pueden presentar por los cambios climáticos y la interacción con el suelo.

1.5.1.1 Cemento. El cemento Portland es un tipo de aglomerante hidráulico que, al entrar en contacto con el agua, puede desarrollar ciertas características. Se encuentra ampliamente disponible en el mercado y se utiliza en la construcción al mezclarse con agua, ya sea de manera independiente o en combinación con otros materiales como arena o piedra. Su característica principal es que se combina gradualmente con el agua para formar una masa endurecida. El cemento Portland es, esencialmente, un polvo muy fino, que se produce mediante la cocción a altas temperaturas de una mezcla predefinida que contiene cal, alúmina, hierro y sílice en proporciones específicas para lograr las propiedades deseadas (González y López, 2013, p.19).

- **Cemento Argos Tipo I:** Este tipo de cemento es de uso general y de fácil adquisición, viene en sacos de 50 Kg de todos los materiales utilizados en esta investigación este es el único que no se puede acopiar en cantidad y por un tiempo prolongado, por lo que solamente se iba comprando la cantidad que se utilizaba en su respectivo momento para evitar su fraguado el cemento es de la misma marca, pero de diferentes lotes (González y López, 2013, p.19).

1.5.1.2. Agregados. El término "agregado fino" como se muestra en la Figura 1, se refiere a aquel material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa a través del Tamiz N° 4 y cumple con los límites especificados en la norma ASTM C-33. Este tipo de agregado puede estar compuesto por arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas.

Es crucial que las partículas del agregado fino sean limpias, con un perfil preferentemente angular, y que posean características de dureza, compacidad y resistencia. Además, deben estar libres de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, exquisitos, pizarras, alcalosis, materia orgánica, sales u otras sustancias que puedan resultar dañinas para el concreto (González y López, 2013, p. 19).

Esta definición resalta la importancia de la calidad y la pureza del agregado fino en la preparación de mezclas de concreto de alta calidad. “La limpieza y las características físicas adecuadas del agregado fino son cruciales para garantizar la durabilidad, la resistencia y la estabilidad del concreto resultante” (González y López, 2013, p. 19).

Figura 1.

Agregado fino



El término "agregado grueso" como se muestra en la Figura 2, se refiere al material que se obtiene mediante la trituración de rocas extraídas de canteras, o de cantos rodados provenientes de los cauces de ríos naturales o artificiales. Este material está constituido por las partículas que son retenidas en el tamiz de 4,75 mm (Nº4) y que cumplen con los estándares establecidos en la norma ASTM C 33. Es esencial destacar que el agregado grueso desempeña un papel fundamental en la preparación de mezclas de concreto de alta calidad. Su tamaño y características físicas influyen directamente en las propiedades mecánicas y estructurales del concreto final. Por lo tanto, es importante que el agregado grueso cumpla con los requisitos de la norma ASTM C 33 en cuanto a tamaño, forma, limpieza y resistencia, garantizando así la durabilidad y el rendimiento del concreto en diversas aplicaciones de construcción (González y López, 2013).

Figura 2.

Agregado grueso



1.5.1.3 Ensayos realizados a los agregados. A continuación, se describen los ensayos realizados

- **Peso Específico:** Este ensayo se realiza para saber cuál es el peso por unidad de volumen del cemento ARGOS Tipo I, y con este dato poder dosificar por peso o por volumen. “La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 307 o ASTM C 114” (González y López, 2013, p.19).

- **Análisis Granulométrico:** El análisis granulométrico es un proceso fundamental para determinar la distribución cuantitativa de los tamaños de partículas en el agregado. Involucra la evaluación de los porcentajes de material que pasan a través de una serie de tamices, como se muestra en la tabla 1, hasta el tamiz No. 200, siguiendo las directrices establecidas en la norma INVE – 123.

Para llevar a cabo este análisis, primero se selecciona el material agregado y luego se procede a realizar un cuarteo del mismo, como se observa en la Figura 3. Posteriormente, se pasa una muestra representativa a través de cada tamiz, observando tanto el porcentaje que pasa como el porcentaje retenido del material en cada uno. Este proceso proporciona información crucial sobre la distribución de tamaños de partículas en el agregado.

Es importante destacar que una correcta graduación del material es esencial para asegurar una buena granulometría en la mezcla final de concreto. Esta granulometría óptima tiene un impacto significativo en las propiedades y el rendimiento del concreto en términos de resistencia y durabilidad (González y López, 2013, p. 20)

Para el agregado fino, se establecen límites recomendados que garantizan una distribución adecuada de tamaños de partículas. Entre estos límites se incluyen:

- El porcentaje que pasa el tamiz No. 200 debe ser menor al 5%.
- Se sugiere que el porcentaje que pasa el tamiz No. 100 esté entre el 30% y el 50%.
- El porcentaje que pasa el tamiz No. 50 debe situarse entre el 85% y el 100%.
- Se espera que el porcentaje que pasa el tamiz No. 30 esté entre el 95% y el 100%.

Estos límites son esenciales para garantizar que el agregado fino tenga una distribución adecuada de tamaños de partículas, lo que a su vez contribuye directamente a la calidad y homogeneidad de la mezcla de concreto (González y López, 2013, p.20).

Figura 3.

Cuarteo de los agregados.



Tabla 1

Límites de gradación de Agregado Fino.

	Malla	% Porcentaje que pasa
3/8"	9.5 (mm)	100%
N4	4.75 (mm)	95 @ 100
N8	2.36 (mm)	80 @ 100
N16	1.18 (mm)	50 @ 85
N30	600 (micrones)	25 @ 60
N50	300 (micrones)	5 @ 30
N100	150 (micrones)	0 @ 10

- **Peso Unitario:** Este ensayo tiene por objeto establecer el método para determinar el peso unitario y el porcentaje de los vacíos de los agregados, ya sean finos, gruesos o una mezcla de ambos. Se realizó tres ensayos para después promediarlos y obtener un resultado más confiable. “La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 217 o ASTM C 29/C 29M – 97” (González y López, 2013, p.20).

- **Gravedad Específica:** Este ensayo tiene por objeto determinar la densidad de los agregados teniendo en cuenta el volumen de vacíos entre partículas y los poros saturables del agregado, en este ensayo se determina la absorción de los materiales, para con estos resultados determinar la cantidad necesaria de agua para el diseño de mezcla. Se realizó tres ensayos para después promediarlos y obtener un valor más certero. “La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 222, ASTM C 128 – 97, para Agregado Fino y la INV E – 223, ASTM C 127 – 88 para Agregado Grueso” (González y López, 2013, p.20).
- **Equivalente De Arena:** Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. La norma de referencia para este ensayo es la INV E – 133 o ASTM D 2419 – 95, AASHTO T 176 – 02 (González y López, 2013, p.20).

Tabla 2

Proporciones iniciales del diseño de mezcla.

Agregado	Por Peso (Kg)	Por Volumen (M3)	Proporción
Agua	190.00	0.19	0.509
Cemento	372.00	0.12	1
Agregado Fino	734.40	0.272	1.97
Agregado Grueso	1103.90	0.415	2.958
TOTALES	2400.30	1.007	

La tabla presenta las dosificaciones iniciales que surgieron del diseño de la mezcla. Estas dosificaciones proporcionaron el punto de partida para la posterior incorporación de fibras de bagazo de caña y cuerda pita en diferentes proporciones (0.2%, 0.5%, y 0.8%). El objetivo fue preparar los especímenes de concreto con las respectivas adiciones de fibras y someterlos a un proceso de curado, el cual consto en dejarlos sumergidos en agua limpia por 28 días para que las vigas alcancen su resistencia máxima, y pruebas de resistencia con la máquina de ensayos de flexión con tres apoyos, también con ayuda mutiensaño500kn que nos permitió recolectar los datos.

Esto permitió realizar un análisis detallado de los datos obtenidos y evaluar el impacto de las fibras en las propiedades mecánicas del concreto.

1.5.1.4 Fibras. A continuación, se describen las fibras utilizadas en el proceso de investigación

Fibras de bagazo de caña

Estas fibras se originaron en un trapiche ubicado en Samaniego (Figura 4), Nariño. Luego, fueron transportadas a las instalaciones del laboratorio en Alvernia, donde se sometieron a un proceso de corte, aproximadamente de 10 a 15 centímetros de longitud. Posteriormente, se introdujeron en una máquina de los ángeles para triturarlas, mejorando su maleabilidad y permitiendo su extracción manual una a una. Después de esta serie de pasos, se sometieron a un proceso de curado con el propósito de impermeabilizarlas (las cantidades que se utilizaron fue la relación de un cuarto de galón de resina para cada kilogramo de fibras), siguiendo las directrices de la norma técnica colombiana NTC 2212. Una vez completado este proceso, las fibras se encontraban listas para su incorporación en la mezcla, preparándolas de esta manera (NTC 2212, 1986).

Figura 4

Trapiche de donde se extrajo el bagazo de caña para la fabricación de fibras.



Fibras de reciclaje

Las fibras recicladas provienen principalmente de los cultivos de arveja en el corregimiento de José María Hernández (Figura 6). Estas fibras son preferidas debido a su ciclo de vida, ya que se utilizan hasta en dos ocasiones antes de ser desechadas. La elección de estas fibras se justifica por su durabilidad, ya que, al estar fabricadas de plástico, muestran resistencia a la corrosión y, por lo tanto, no requieren un proceso de curado previo antes de ser incorporadas en la mezcla (NTC 2212, 1986).

Figura 5

Fibras de bagazo de caña sin proceso de curado.



1.5.2 Caracterización de los materiales

La adición de fibras al concreto ha demostrado ofrecer resultados notables en términos de resistencia y durabilidad. Frente al desafío del alto costo de las fibras comerciales, se ha llevado a cabo una investigación que sugiere que las fibras recicladas y naturales pueden ser alternativas más económicas y eficaces. Estas opciones, además de ser más accesibles en términos de costos, han mostrado un comportamiento satisfactorio en pruebas de flexión y otras pruebas de rendimiento. Esta elección no solo promueve la sostenibilidad al reutilizar materiales existentes, sino que

también demuestra que el rendimiento del concreto puede mejorarse de manera efectiva sin comprometer la calidad ni el presupuesto.

2. Interpretación de resultados

2.1 Métodos Analíticos

2.1.1 Objetivo 1.

Para alcanzar el primer objetivo, se realizó y se curaron adecuadamente las fibras tanto de bagazo como de cuerda pita sintética. Para lograr los siguientes objetivos de manera óptima, se requirieron las siguientes actividades

Actividad 1.

La fabricación de fibras a partir del bagazo de caña implica un proceso meticuloso que comienza con la recolección del bagazo como subproducto de la industria azucarera. Una vez obtenido, el bagazo se somete a una limpieza para eliminar cualquier impureza que pueda afectar la calidad de las fibras resultantes. Luego, se realiza el desfibrado manual, donde se separan las fibras individuales del bagazo, ya que este proceso toma bastante tiempo la alternativa que se encontró fue usar la máquina de los ángeles con una cantidad de 11 balines y 500 revoluciones para poder realizar el desfibrado del bagazo de una manera más eficiente. Este paso es crucial para garantizar la calidad y uniformidad de las fibras que se utilizaran.

Es importante destacar que la fabricación de fibras a partir del bagazo de caña no solo aprovecha un recurso agrícola desperdiciado, sino que también ofrece beneficios ambientales al proporcionar una alternativa sostenible a los materiales sintéticos. Al utilizar el bagazo de caña como materia prima, se reduce la dependencia de los materiales derivados del petróleo, lo que ayuda a mitigar el impacto ambiental asociado con su producción y eliminación.

Actividad 2.

La fabricación de fibras de cuerda pita sintética es un proceso que se origina en la obtención de la materia prima, la cual se encuentra principalmente del reciclaje de las fibras en los cultivos,

como los campos de arvejas. Una vez que se han cosechado estas plantas, se procede a aprovechar las fibras las cuales ya son desechables. El proceso para preparar las fibras para adicionar al concreto puede involucrar técnicas manuales o mecánicas, dependiendo de la escala de producción y los recursos disponibles.

Después de la extracción, las fibras de pita se someten a un proceso de limpieza y refinamiento para eliminar impurezas y asegurar la calidad del material. Luego, se procede al corte de las fibras a la longitud específica requerida para su aplicación final (Figura 7). Este paso es crucial para garantizar la uniformidad y la consistencia del producto terminado.

Una vez cortadas, las fibras de pita están listas para su uso en una variedad de aplicaciones, incluida la construcción de especímenes de prueba. Gracias a su resistencia y versatilidad, estas fibras sintéticas se han convertido en un material popular en numerosas industrias. Su capacidad para soportar tensiones y su durabilidad las hacen ideales para aplicaciones que requieren una alta resistencia mecánica y una larga vida útil.

Figura 6

(Cultivos de donde se extrajo la cuerda pita para su posterior figurado a fibras).



Figura 7

(Fibras de cuerda pita).



Actividad 3.

El proceso de curado con resinas de fibras naturales de bagazo de caña implicó varios pasos cruciales. En primer lugar, se llevó a cabo la preparación del bagazo, que incluyó la desfibrilación para separar las fibras individuales y eliminar impurezas. Este paso fue fundamental para garantizar la calidad y uniformidad de las fibras.

Una vez que el bagazo estuvo preparado, se procedió a la mezcla con una resina adecuada. Esta etapa requirió una atención meticulosa para asegurar una distribución uniforme de la resina en todo el bagazo, esta distribución se realizó de manera que quede uniforme, para esta distribución se aplicó un cuarto de galón de resina e impermeabilizante para una muestra total de 1 kg de muestras de bagazo de caña. La resina actuó como agente de unión, ayudando a consolidar las fibras y proporcionando estabilidad estructural al material resultante.

Durante el proceso de mezcla, la resina comenzó a experimentar un proceso de endurecimiento, este dándose por acción de catalizadores químicos y por exposición al calor. Este endurecimiento fue crucial para garantizar la integridad y durabilidad de las fibras una vez consolidadas (Gil, 2012).

Una vez que la resina había completado su proceso de endurecimiento, las fibras consolidadas adquirieron una serie de propiedades mecánicas mejoradas que las hacían más resistentes, lo que se puede observar en la “Figura 8”. Este proceso permitió que las fibras impregnadas con resina formaran una unión más adecuada, lo que aumentó significativamente su capacidad para soportar cargas y resistir fuerzas a flexión. Además, la resina actuó como un agente de unión, fortaleciendo las interacciones entre las fibras y proporcionando una mayor integridad estructural al material resultante.

En cuanto a la resistencia al desgaste y la degradación, la presencia de la resina jugó un papel crucial. Se busca que las propiedades impermeabilizantes de la resina formaran una capa protectora alrededor de las fibras, con la intención de crear una barrera eficaz contra la humedad, los productos químicos y otros agentes corrosivos. Se espera que esta capa protectora no solo protegiera las fibras de la degradación causada por la exposición ambiental, sino que también aumentara su resistencia al desgaste, prolongando así su vida útil.

Sin embargo, los resultados no alcanzaron el nivel óptimo en cuanto a la resistencia a la humedad. Se observó que, al entrar en contacto con el agua durante el proceso de mezcla, las fibras mostraron una notable absorción de agua. Este fenómeno indicó que la protección contra la humedad proporcionada por la resina no fue tan efectiva como se esperaba. Por otro lado, las propiedades mecánicas experimentaron una mejora significativa en comparación con las fibras naturales sin ningún tipo de tratamiento con resina. El endurecimiento de la resina al entrar en contacto con las fibras fortaleció la estructura del material, lo que resultó en una mayor resistencia a las fuerzas de flexión y una mayor durabilidad en general.

Figura 8

Fibras de bagazo de caña tras proceso de curado.



2.1.2 Objetivo 2.

Para el desarrollo del segundo objetivo se llevaron a cabo las pruebas, de flexión, se llevaron a cabo en los laboratorios de Alvernia utilizando diversos especímenes de prueba. Estos incluyeron variaciones en la cantidad y tipo de fibras, así como especímenes sin adición de fibras.

Actividad 1.

El proceso de diseño y fabricación de los nuevos especímenes de prueba de concreto con una distribución controlada de fibras se lleva a cabo inicialmente, se seleccionaron las fibras de bagazo de caña y de cuerda pita, considerando su calidad y propiedades para garantizar resultados óptimos en los ensayos. Luego, se procedió al mezclado uniforme, este es un paso esencial ya que esto asegura la homogeneización de las fibras con el concreto. Este proceso se realizó de manera cuidadosa para evitar la formación de grumos y garantizar una dispersión uniforme de las fibras en toda la mezcla.

Después de completar el proceso de mezclado, se procedió al vaciado de la mezcla de concreto en los moldes de los especímenes de prueba (Figura 9). Durante esta fase, se prestó atención a la adición y distribución de las fibras en el interior de los moldes. Se emplearon técnicas específicas

para garantizar una distribución uniforme de las fibras en todo el volumen del concreto. Una vez que se vertió la mezcla en los moldes, se llevó a cabo un proceso de vibrado para eliminar las burbujas de aire que se forman en el concreto. Este paso fue crucial para prevenir la pérdida de resistencia y la formación de vacíos dentro del material. De esta manera, se evitó cualquier aglomeración que pudiera comprometer la integridad estructural de los especímenes de prueba.

Para garantizar la variedad y representatividad de los ensayos, se utilizaron diferentes tipos de fibras, incluyendo las provenientes del bagazo de caña y la cuerda pita reciclada, en diversas proporciones. Estas proporciones se determinaron con base en las recomendaciones para fibras de polipropileno, considerando valores que oscilaban entre el 0.2% y el 0.8%. La elección de un punto intermedio del 0.5% permitió obtener varias dosificaciones para mezclar con los materiales de construcción, brindando así una gama de muestras que representaran diferentes concentraciones de fibras en el concreto.

Una vez que las fibras fueron incorporadas en la mezcla de concreto y los especímenes de prueba fueron fabricados, se procedió al proceso de curado. Este paso, crucial para el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto, se realizó durante un período de 28 días, siguiendo estrictamente las pautas establecidas en la norma INV E 402. Durante este tiempo, se controlaron las condiciones de humedad y temperatura para asegurar un curado adecuado, que permitiera la formación de una matriz cementante resistente y duradera en los especímenes de prueba.

Figura 9

Proceso de encofrado para especímenes de prueba.



Actividad 2.

Para evaluar las cualidades físicas de los especímenes de prueba, llevamos a cabo pruebas de flexión utilizando las máquinas proporcionadas por la universidad en Alvernia. Específicamente, utilizamos la máquina universal de ensayos, que nos proporcionó la capacidad necesaria para aplicar fuerzas controladas sobre los especímenes y registrar sus respuestas mecánicas.

Para realizar las pruebas de flexión, seguimos las pautas establecidas por la norma ASTM C 293. Esta norma nos proporcionó un marco sólido para determinar la resistencia a la flexión del concreto utilizando una viga simplemente apoyada y cargada en el centro de la luz.

El procedimiento implicó colocar cada espécimen de prueba en la máquina universal de ensayos, asegurándonos de que estuviera correctamente alineado y soportado para replicar las condiciones descritas en la norma ASTM C 293 (Figura 10 y 11). Luego, aplicamos gradualmente la carga sobre el centro de la viga hasta alcanzar el punto de fractura. Durante todo el proceso, la máquina registró cuidadosamente las fuerzas aplicadas y las deformaciones resultantes, permitiéndonos calcular la resistencia a la flexión de cada espécimen.

Al seguir las directrices de la norma ASTM C 293 y utilizar la máquina universal de ensayos, se pudo evaluar de manera precisa y confiable la resistencia a la flexión de los especímenes de prueba de concreto. Este enfoque riguroso nos proporcionó datos importantes para analizar y

comparar el desempeño de diferentes formulaciones de concreto con fibras, contribuyendo así al avance de la investigación en este campo.

Figura 10.

Ensayos a flexión en especímenes de prueba. Con fibras cuerda pita



Figura 11.

Ensayo a flexión en espécimen de prueba con fibras de bagazo de caña



Tabla 3

Normas que rigen el proyecto de investigación.

Uso	Norma	Título
Propiedades físicas de los materiales	NTC 77	Granulometría (Agregado fino y grueso)
Diseño de mezcla	NTC 92	Masa unitaria
	NTC 1776	Densidad, densidad relativa y absorción
	INV E 402	Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio para ensayos de compresión y flexión.
Resistencia a la flexión	NTC 174	Especificaciones de los agregados para concreto.
	ASTM C 293	Resistencia a la flexión de concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en el medio de la luz
Asentamiento	NTC 396	Prueba del cono de Abrams.
Fibras	NTC 5214	Fibras de acero para refuerzo de concreto.
	NTC 5541	Concreto reforzado con fibras
Resistencia a compresión	NTC 673	Resistencia a la compresión de especímenes cilindros de concreto.

2.1.3 Objetivo 3.

Se comparó las resistencias obtenidas en los ensayos previos para cada tipo de fibra y para cada dosificación de fibra utilizada.

Actividad 1.

Durante el proceso de comparación entre los resultados obtenidos tras los ensayos de falla de cada viga, se llevó a cabo un análisis para entender en profundidad la relación entre el porcentaje de contenido de fibras y la respuesta del concreto ante las cargas aplicadas. Esta comparación se

tomó como un paso crucial en la evaluación de la efectividad de las fibras en mejorar las propiedades mecánicas del material.

Para llevar a cabo este análisis, se empleó la máquina de ensayos Multienayo500kN, la cual permitió registrar con precisión la carga aplicada en MegaPascals (MPa) y el tiempo transcurrido hasta que cada espécimen de prueba alcanzó el punto de fallo. Estos datos fueron fundamentales para trazar gráficos que visualizaran claramente la relación entre la cantidad de fibras y la resistencia del concreto en función del tiempo de carga. La representación gráfica de estos resultados ofreció una visión más amplia y detallada de cómo la adición de fibras influye en la capacidad del concreto para soportar cargas, destacando patrones y tendencias significativas.

Además de proporcionar una comprensión más profunda de los resultados obtenidos, este análisis permitió identificar de manera precisa cómo diferentes niveles de contenido de fibras afectan la resistencia y la durabilidad del concreto. Estas observaciones detalladas, respaldadas por datos concretos, sentaron las bases para formular recomendaciones específicas sobre el uso adecuado de fibras en el diseño y la construcción de estructuras de concreto. Estas recomendaciones podrían influir en prácticas futuras en la industria de la construcción, promoviendo la adopción de enfoques más eficientes y sostenibles en el uso de materiales compuestos.

2.2 Resultados obtenidos en los ensayos de flexión

En la “tabla 4”, se presentan de manera detallada los resultados clave obtenidos de los ensayos de flexión realizados en los especímenes de prueba. Estos resultados, que incluyen el módulo de rotura, la carga de ruptura y el tiempo de fallo, fueron meticulosamente evaluados con el objetivo de arribar a conclusiones fundamentales sobre cuál dosificación y tipo de fibra resulta más efectivo para mejorar la resistencia del concreto. Este análisis no solo se centró en determinar el impacto de las fibras en términos de resistencia, sino también en investigar si estas adiciones contribuyeron a fortalecer la capacidad del concreto frente a cargas de flexión, aspecto vital para su aplicabilidad en diversos contextos estructurales.

En la primera columna de la tabla se detallan las diferentes dosificaciones y tipos de fibras empleadas en cada espécimen, proporcionando una visión clara de las variables analizadas en el estudio. La segunda columna registra la carga de rotura de cada muestra, representando la máxima fuerza que la viga fue capaz de resistir antes de colapsar bajo las condiciones de flexión. Por otro lado, la tercera columna presenta el módulo de ruptura, ofreciendo una perspectiva crucial sobre la resistencia máxima alcanzada por cada espécimen antes de sufrir un fallo estructural. Además, la cuarta columna presenta el tiempo de fallo, expresado en segundos, lo que proporciona una medida precisa del intervalo temporal que transcurrió desde el inicio del ensayo hasta la ocurrencia del fallo en cada viga.

Estos datos detallados permiten una evaluación de cómo la incorporación de fibras, en diferentes cantidades y tipos, afecta las propiedades mecánicas del concreto sometido a cargas de flexión. Al analizar estos resultados en conjunto, se obtiene una comprensión más completa de los beneficios y limitaciones asociados con la adición de fibras al concreto, lo que resulta valioso para la optimización del diseño y la selección de materiales en proyectos de ingeniería civil y construcción.

Tabla 4

Resistencia a la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple con carga en el tercer punto. ASTM C78.

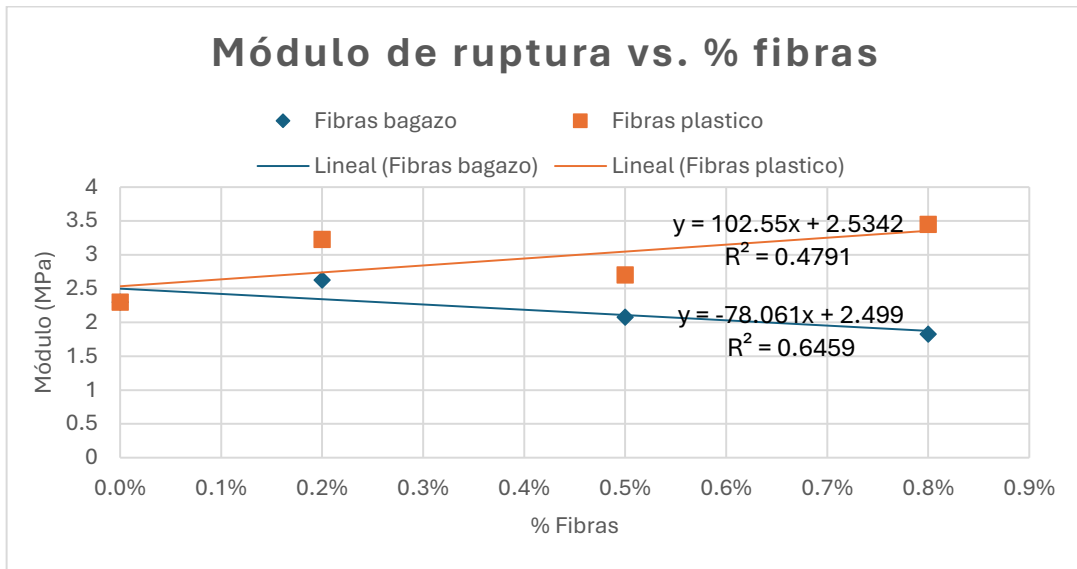
Resistencia a la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple con carga en el tercer punto. ASTM C78			
Vigas de Concerto	Carga de rotura	Modulo de ruptura	Tiempo Falla.
	[kN]	[MPa]	[Seg]
1- 0	16.47	2.1	108
2- 0	19.33	2.5	126
Vigas con Fibra bagazo	-	-	-
1- 0,2%	20.49	2.6	142
2- 0,2%	20.02	2.65	136
1- 0,5%	16.57	2.15	109

2- 0,5%	15.63	2	103
1- 0,8%	15.05	1.95	96
2- 0,8%	13.39	1.7	85
Vigas con Fibra reciclada	-	-	-
1- 0,2%	24.66	3.05	169
2- 0,2%	26.34	3.4	189
1- 0,5%	19.04	2.55	140
2- 0,5%	21.64	2.85	158
1- 0,8%	27	Na	192
2- 0,8%	27	3.45	192

Una vez analizados en profundidad los parámetros detallados en la "tabla 4" y su relevancia dentro del contexto del estudio, se profundizó en el proceso de condensar esta información en cuatro gráficos representativos. Estos gráficos no solo simplifican la comprensión de los datos, sino que también permiten visualizar de manera más clara las tendencias y relaciones entre las variables estudiadas. Esta estrategia de visualización es fundamental para destacar patrones significativos y facilitar la interpretación de los resultados. Los gráficos seleccionados fueron diseñados con el objetivo de abarcar la diversidad de datos presentados en la tabla y ofrecer una visión comprehensiva de los hallazgos obtenidos en el análisis.

Grafica 1.

Módulo de ruptura vs. % Fibras.



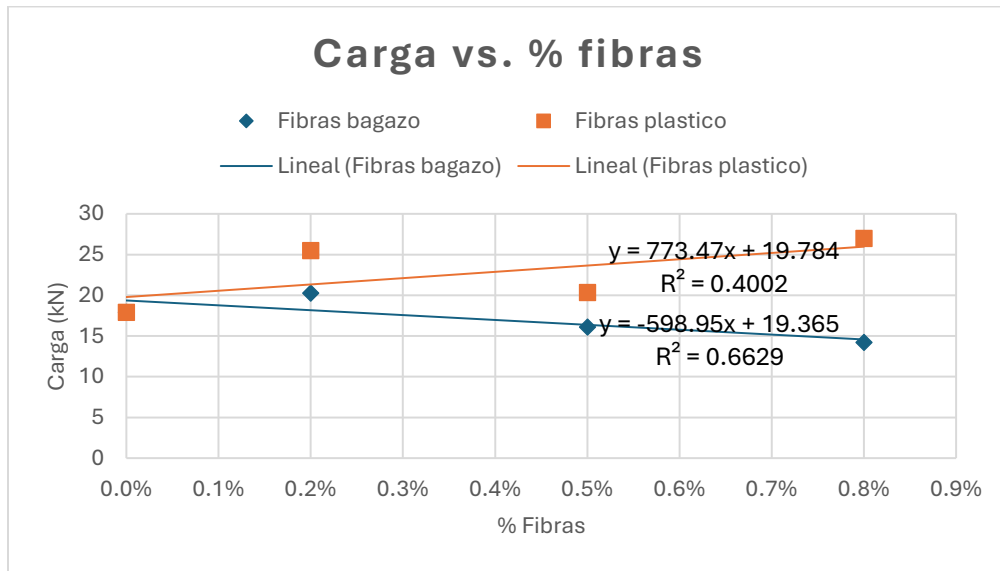
En la “*gráfica 1*” se ilustra el impacto de la cantidad y el tipo de fibras aplicadas, que se encuentra plasmado en el eje horizontal, en los especímenes en términos de su rendimiento el cual se muestra en el eje vertical, específicamente en el módulo de ruptura, que indica la resistencia a la flexión hasta alcanzar la fractura bajo la máxima tensión. Se han trazado dos líneas de tendencia que arrojan resultados significativos: se destaca claramente la eficacia relativa de los diferentes tipos de fibras. Se observa que las fibras de plástico muestran un mejor desempeño a medida que se incrementa su cantidad, mientras que las de bagazo exhiben mejoras mínimas con un bajo porcentaje de fibras (0.2%); sin embargo, su rendimiento disminuye conforme se aumenta este porcentaje. Este fenómeno se atribuye a las propiedades orgánicas del bagazo, que tienden a absorber demasiada agua durante la mezcla, lo que altera su resistencia teniendo en cuenta que estas fibras fueron dispuestas al curado para impermeabilización.

Por otro lado, se observa una dispersión considerablemente alta en los resultados como se muestra en el coeficiente de correlación en las líneas de tendencia de la “*Grafica 1*”, lo que indica una carencia en la cantidad de especímenes de prueba. Esta disparidad se debe en parte a la limitación en la cantidad de pruebas realizadas, influenciada tanto por restricciones de tiempo como económicas. Además, la falta de variación en los porcentajes de fibras contribuyó a esta falta de

uniformidad. Este enfoque se basó en las recomendaciones de la ficha técnica de las fibras de polipropileno, que sugerían porcentajes de entre 0.2% y 0.8%. En consecuencia, se optó por seleccionar tres valores que abarcasen este rango, lo que limitó la exploración de otras posibles combinaciones de porcentajes y su efecto en los resultados.

Grafica 2.

Carga vs. % fibras.



En la “gráfica 2” se visualiza el módulo de carga y el porcentaje de fibras la visualización detallada revela cómo la cantidad y el tipo de fibras influyen en el rendimiento de los especímenes, centrándose en la carga máxima que pueden soportar en flexión antes de colapsar. Al analizar las dos líneas de tendencia trazadas, se observan claramente una inclinación hacia la relación entre los diferentes tipos de fibras y su efecto en el rendimiento.

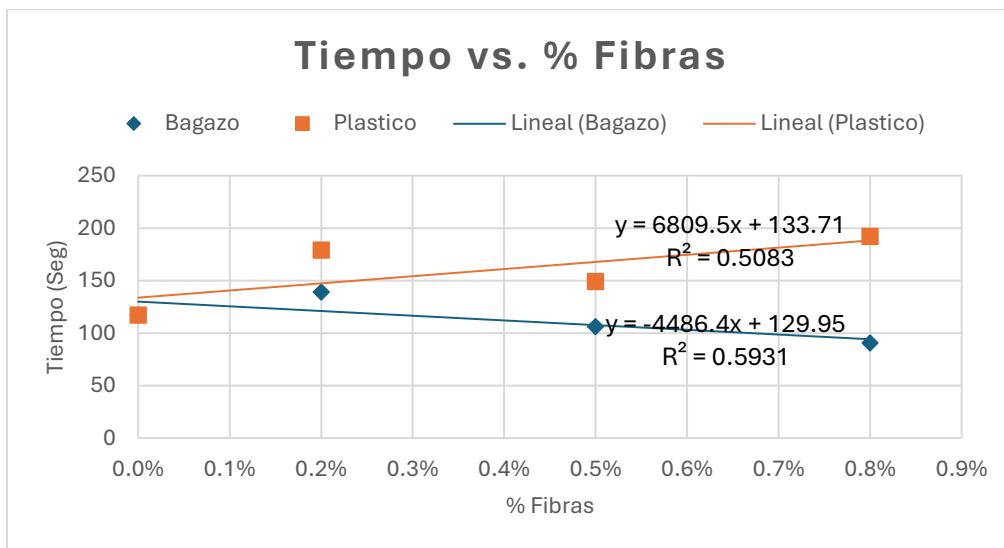
Las fibras de plástico muestran un aumento progresivo en su rendimiento a medida que se aumenta su cantidad, lo que sugiere una mejora continua en la resistencia del material. Este comportamiento se esperaría debido a la naturaleza de refuerzo que proporcionan las fibras de plástico al material compuesto. Por otro lado, las fibras de bagazo muestran mejoras mínimas cuando se agregan en un bajo porcentaje (0.2%), lo que indica una capacidad limitada para fortalecer el material en comparación con las fibras de plástico. Sin embargo, a medida que se incrementa el porcentaje de fibras de bagazo, su rendimiento comienza a disminuir, un fenómeno

que puede estar relacionado con las propiedades orgánicas del bagazo. Este análisis subraya la importancia de considerar tanto la cantidad como el tipo de fibras al diseñar materiales compuestos para garantizar un rendimiento óptimo y prevenir posibles fallos estructurales. La relación entre la carga y la resistencia de los materiales compuestos se ve reflejada en la gráfica, destacando la influencia significativa que tienen las fibras en el comportamiento del material.

La amplia variabilidad en la dispersión de los resultados sugiere posible falta de datos en el proceso de prueba o en los especímenes, lo cual se ve agravado por la carencia en la cantidad de especímenes de prueba. Esta falta de representatividad puede deberse a limitaciones en la cantidad de pruebas realizadas, influenciadas por restricciones de tiempo o recursos económicos. Además, la concentración estrecha de fibras tanto de bagazo de caña como de cuerda reciclada dentro de un rango recomendado (0.2% - 0.8%) y la exploración limitada de otras combinaciones de porcentajes podrían haber contribuido a la falta de uniformidad en los resultados.

Grafica 3.

Tiempo vs. % Fibras.

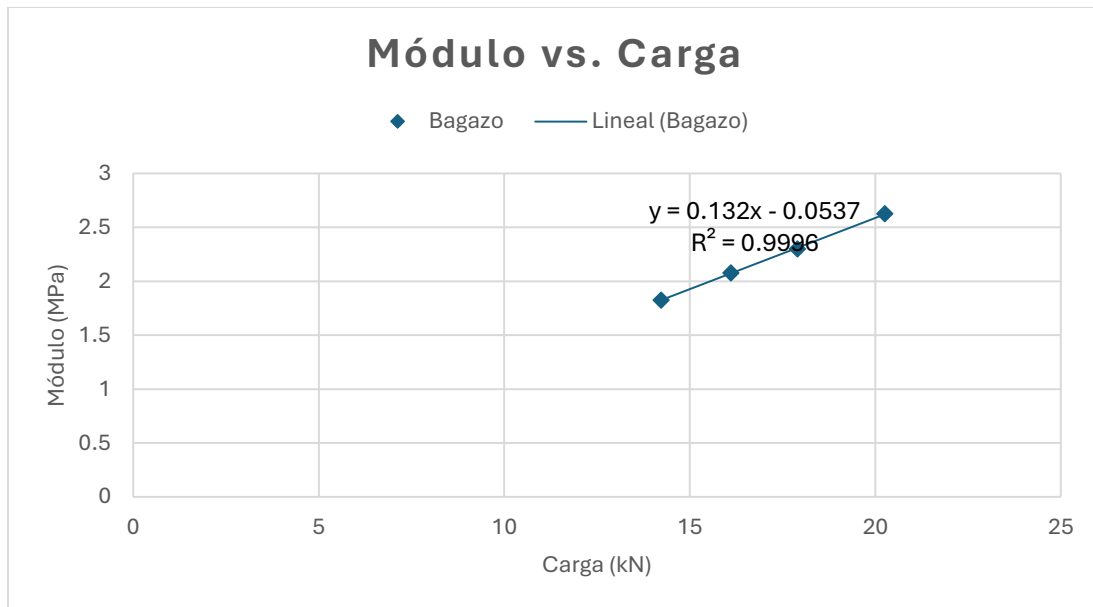


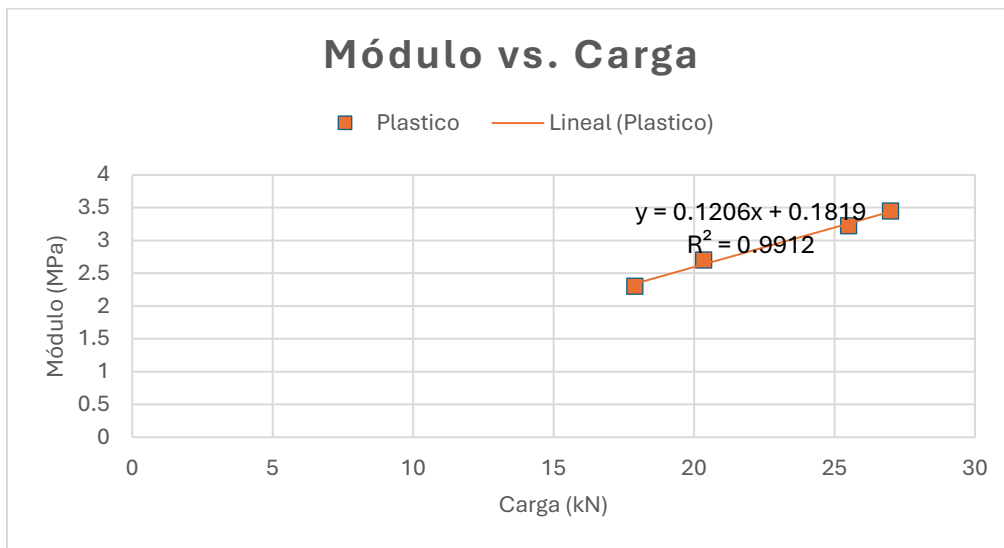
En el “gráfico 3”, se representa la relación entre el tiempo y el porcentaje de fibras, donde se observa un aumento en el rendimiento de las fibras de plástico a medida que se incrementa su cantidad, indicando una mejora en la resistencia del material.

Por el contrario, las fibras de bagazo muestran mejoras mínimas con bajos porcentajes (0.2%), sugiriendo una limitada capacidad para fortalecer el material. Sin embargo, al aumentar el porcentaje de fibras de bagazo, su rendimiento disminuye debido a su tendencia a absorber exceso de agua durante la mezcla, comprometiendo su resistencia y la del material en general. Este análisis destaca la importancia de considerar tanto la cantidad como el tipo de fibras al diseñar materiales compuestos para garantizar un óptimo rendimiento y prevenir posibles fallos estructurales.

Grafica 4.

Módulo vs Carga.



Grafica 5.*Módulo vs Carga.*

En la “*gráfica 4*” y “*gráfica 5*” ofrece una observación de cómo la máxima fuerza ejercida sobre los especímenes de prueba se relaciona con su capacidad máxima para resistir la deformación antes de experimentar fallos o fracturas. Esta representación visual subraya de manera contundente la estrecha relación entre estos aspectos clave del comportamiento estructural del material. Al analizar detenidamente la gráfica, se percibe claramente cómo estos resultados están intrínsecamente ligados: a medida que aumenta la fuerza aplicada, también se incrementa la resistencia a la deformación, lo que resulta en una mayor capacidad de los especímenes para resistir las fuerzas externas. Esta relación se manifiesta en una distribución uniforme de puntos a lo largo de la gráfica, dando como resultado una línea de tendencia que muestra una correlación entre la fuerza aplicada y la resistencia.

Además, esta visualización no solo proporciona una comprensión de la respuesta estructural del material bajo cargas externas, sino que también resalta una tendencia consistente que se ha observado en gráficas anteriores: la mayor eficiencia y rendimiento de las fibras de plástico. Se evidencia que los especímenes que contenían este tipo de fibras pudieron soportar una mayor carga, lo que sugiere una mayor resistencia generada por estas fibras. Esta observación es crucial para el diseño y la evaluación del rendimiento del material en diversas aplicaciones.

2.3 Productos generados

Además de los hallazgos anteriores, el estudio revela que la incorporación de fibras alternativas al concreto, como las derivadas del bagazo o la cuerda pita, presenta una viabilidad notable y conlleva ventajas económicas en comparación con las opciones convencionales del mercado, como las fibras de acero o polipropileno, cuyos costos suelen ser significativamente más elevados. Por ejemplo, mientras que el precio de un kilogramo de fibras de acero puede alcanzar los 15.000 pesos colombianos, y las de polipropileno incluso pueden superar los 40.000 pesos colombianos por kilogramo, las fibras de bagazo y cuerda pita representan una alternativa más asequible y accesible económicamente. Este aspecto es especialmente relevante en sectores donde se busca optimizar costos sin comprometer la calidad y las propiedades mecánicas del concreto.

En contraste, nuestras fibras recicladas se obtuvieron de forma gratuita, ya que provienen de materiales reciclados y no requieren ningún proceso adicional para su incorporación en el concreto. Esta ventaja económica es significativa y subraya el potencial económico de utilizar fibras recicladas en proyectos de construcción. Al eliminar el costo asociado con la adquisición de fibras convencionales, se reduce considerablemente el gasto total en materiales de construcción, lo que puede tener un impacto positivo en el presupuesto global del proyecto.

Estos resultados respaldan la viabilidad y el potencial económico de utilizar fibras recicladas en aplicaciones de construcción, lo que no solo promueve la sostenibilidad ambiental al reutilizar materiales, sino que también ofrece una alternativa rentable y eficaz para mejorar las propiedades del concreto.

Después de un análisis de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en los especímenes de concreto, hemos logrado dar una serie de recomendaciones fundamentales que representan un valioso aporte de este estudio. Estas recomendaciones, que surgen como el tercer producto de nuestra investigación.

También el artículo realizado no solo ofrece un resumen de directrices prácticas para la implementación eficaz de fibras en el concreto, sino que también sirve como una herramienta educativa. Podría ser utilizado como una cartilla técnica por profesionales del sector de la

construcción, ingenieros civiles, arquitectos y otros involucrados en el diseño y la ejecución de proyectos de ingeniería civil.

Además de su utilidad inmediata en el ámbito laboral, este trabajo de grado también tiene el potencial de catalizar nuevas investigaciones y estudios. Al proporcionar una síntesis comprensible y accesible de los resultados obtenidos, así como sugerencias claras para el uso óptimo de fibras en el concreto, el presente trabajo de grado puede guiar a futuros investigadores. Esto podría incluir investigaciones adicionales sobre la eficacia de diferentes tipos de fibras, exploraciones de técnicas de dosificación más precisas o evaluaciones de los efectos a largo plazo de la incorporación de fibras en la durabilidad y el rendimiento estructural del concreto.

3. Conclusiones

Se destaca la necesidad de abordar el proceso de curado de las fibras de bagazo de manera más especializada y específica, en contraste con el tratamiento convencional de la madera. La alta capacidad de absorción de agua del bagazo presenta desafíos significativos en cuanto a mantenerlo seco y con una absorción de agua mínima. Por lo tanto, se requiere un enfoque más meticuloso para garantizar su funcionalidad y eficacia adecuadas. Este hallazgo sugiere la importancia de considerar iniciativas de investigación futuras para profundizar en este tema y desarrollar métodos más efectivos de manejo y curado de fibras de bagazo.

El objetivo de utilizar fibras de bagazo de caña y cuerda pita sintética reciclada para mejorar la resistencia del concreto tuvo resultados diversos. Mientras las fibras de cuerda pita de plástico demostraron ser altamente efectivas al aumentar la resistencia, las fibras de bagazo de caña, al ser orgánicas, absorbieron demasiada agua incluso después de curadas, resultando en una disminución de la resistencia del concreto. Estos hallazgos subrayan la importancia de una cuidadosa selección de materiales de refuerzo para lograr mejoras coherentes en las propiedades del concreto.

Al evaluar el impacto de cantidades controladas de fibras en la resistencia del concreto mediante pruebas de flexión, se observaron resultados diferentes según el tipo de fibra. Las fibras plásticas demostraron una relación positiva entre la resistencia del concreto y el incremento de la cantidad de fibras, generando mejoras significativas. Por otro lado, las fibras de bagazo de caña mostraron una relación menos predecible, con la mayor resistencia registrada a un 0.2% de fibras, seguida de una disminución a medida que aumentaba el porcentaje, atribuible a su naturaleza orgánica y mayor susceptibilidad a la absorción de agua.

Se sugiere que la mejor dosificación de fibras sería de un 0.8% de fibras recicladas ya que la resistencia a la que se logró llegar fue mayor con esta cantidad de fibras, lo que destaca su eficacia en la mejora de las propiedades del concreto. Además, se resalta la conveniencia de utilizar este tipo de fibras debido a su costo insignificante, lo que las hace una opción atractiva desde el punto de vista económico para fortalecer el concreto sin comprometer su rendimiento.

4. Recomendaciones

Se recomienda aumentar el número de especímenes de prueba con una mayor variedad de dosificaciones de porcentajes de fibras. En nuestro caso, solo utilizamos tres porcentajes: 0.2%, 0.5% y 0.8%. Ampliar la gama de dosificaciones permitiría extender el estudio y comparar resultados de manera más exhaustiva.

También se recomienda realizar un estudio más extenso para el tratamiento de las fibras naturales de bagazo de caña, con el fin de optimizar su uso en el refuerzo del concreto. Esto aseguraría que las fibras estén adecuadamente preparadas y mejoren de manera efectiva las propiedades del concreto.

Se recomienda explorar nuevas formas para el diseño de mezcla para una integración más efectiva de las fibras, con el objetivo de mejorar significativamente las propiedades del concreto. Esto implicaría investigar y desarrollar enfoques innovadores que permitan una distribución más uniforme y una mayor eficacia de las fibras en la matriz de concreto.

Referencias Bibliográficas

- Aidarov, S., Sánchez, A., Mena, F. y Fuente, A. (2019). Campaña experimental de un forjado de hormigón reforzado con fibras a escala real. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/186414>
- Apaza, N. y Goberich, J. (2022). Influencia de las fibras de acero en las propiedades del concreto autocompactante. Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90138>
- Córdova, M., Pinedo, D., Araujo, J. y Orbegoso, J. (2019). Steel fibers in the resistance to compression of the concrete. Revista Gaceta Técnica. https://www.researchgate.net/publication/334596165_FIBRAS_DE_ACERO_EN_LA_RESISTENCIA_A_LA_COMPRESION_DEL_CONCRETO_STEEL_FIBERS_IN_THE_RESISTANCE_TO_COMPRESSION_OF_THE_CONCRETE
- Champi, C. y Espinoza, L. (2017). Análisis comparativo de las características mecánicas a compresión, flexión y costos de materiales de un concreto patrón y otro adicionado con fibra sintética mejorada Sikafiber® PE, elaborado con agregado de las canteras Cunyac y Vicho. Universidad Andina del Cusco. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1303>
- Gencil, O., Ozel, C. Brostow, W. y Martínez, G. (2011). Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres. Materials Research Innovations. https://www.researchgate.net/publication/233566049_Mechanical_properties_of_self-compacting_concrete_reinforced_with_polypropylene_fibres
- Gil, A. (2012). Resinas de poliéster. <https://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/Documents/guia%20de%20manejo%20de%20resinas.pdf>
- González, G. y López, D. (2013). Incidencia de las fibras de acero como refuerzo para el concreto hidráulico. Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/992/1/89972.pdf>

Jaimes, D., García, J. y Rondón, J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. Revista Formación Estratégica.

<https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/download/18/14>

Javadiano, A., Wielopolski, M., Smith, I. y Hebel, D. (2016). Estudio del comportamiento de adherencia del refuerzo compuesto de bambú recientemente desarrollado en hormigón.

https://www.researchgate.net/publication/305847115_Bond-behavior_study_of_newly_developed_bamboo-composite_reinforcement_in_concrete

Lange, D. y Karihaloo, B. (1997). Tension softening of fibre-reinforced cementitious composites.

Cement and Concrete Composites.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946597000279>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2010). Reglamento

Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10.

<https://camacol.co/sites/default/files/descargables/T%C3%ADtulo%20C%20NSR-10%20del%20Decreto%20926%20del%2019032010.pdf>

Miravete, A. (1995). Los nuevos materiales en la construcción. Universidad de Zaragoza.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=41ApEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=Cada+tipo+de+fibra+tiene+sus+propias+caracter%C3%ADsticas+y+propiedades,+por+lo+que+es+importante+elegir+la+fibra+adecuada+en+funci%C3%B3n+de+las+necesidades+espec%C3%ADficas+del+proyecto+de+construcci%C3%B3n.&ots=0lQL3ttRB0&sig=yMnj5ixuN60bcop9aejZJETDbN0>

Mohamed, A. y Khaled, A. (2021). Effect of different fiber types on the mechanical properties of normal and high strength concrete at elevated temperatures.

<https://challengejournal.com/index/cjcr1/article/viewFile/527/371>

Norma Técnica Colombiana 2212 [NTC 2212]. (1986). Ingeniería civil y arquitectura.

Impermeabilizante. emulsiones asfálticas para impermeabilización de superficies.

<https://es.scribd.com/doc/293470120/NTC-2212-Impermeabilizante-Emulsiones-Asfalticas-Para-Impermeabilizacion-de-Superficies>

Ocampo, J. (2015). Diseño de un equipo para medición de fibra de caña. Universidad del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/77c01442-60e2-4aef-b31f-a1b4c833b292>

Pachón, J. (2017). Evaluación del uso combinado de fibras metálicas y sintéticas como refuerzo del concreto, aplicado al soporte y revestimiento de túneles. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/655>

Peña, E. y Palomares, V. (2018). Análisis del comportamiento mecánico del concreto con adición de virutas de acero recicladas para pavimentos rígidos en Lima. Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34375>

Sandoval, A. (2016). Caracterización de hormigón autocompactante reforzado con fibras sintéticas para uso estructural. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143051>

Santillán, M. (2020). Concreto reforzado con fibras aporta beneficios a la construcción. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://ciencia.unam.mx/leer/1069/concreto-reforzado-con-fibras-aporta-beneficios-a-la-construccion>

Silva, O. (2024). Las fibras en el concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/las-fibras-en-el-concreto/>

Vidaud, E. (2013). De la Historia del Cemento. <https://www.imcyc.com/revistacyt/index.php/ingenieria/60-de-la-historia-del-cemento>

Zerbino, R. (2020). El hormigón reforzado con fibras y sus proyecciones dentro de la industria de la construcción. Revista de ingeniería.

https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/109925/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y