

RESEARCH ARTICLE

Efectos de los desechos de acero como material de refuerzo en las propiedades mecánicas del hormigón.

Jossué Enmanuel Naula-Vázquez ¹   Juan Maldonado-Noboa ¹  Marco Avila-Calle ¹  

¹ Universidad Católica de Cuenca. Unidad de Postgrados. Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable. Cuenca, Ecuador.

 Correspondencia: jossue.naula.07@est.ucacue.edu.ec  + 593 99 974 6196

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj82218>

Resumen: El presente artículo analiza el impacto de incluir fibras de acero, procedentes de residuos de desechos de acero, como agregadas en mezclas de hormigón, evaluando las propiedades mecánicas resultantes frente a mezclas tradicionales. Utilizando una metodología basada en ensayos de tracción indirecta de sondas cilíndricas y comparativo de resultados, se busca determinar si este componente mejora la resistencia y la durabilidad del material. Además, se complementa el estudio con una revisión bibliográfica de investigaciones previas. Los resultados obtenidos permitirán identificar el potencial de las fibras de acero como un recurso sostenible y viable en la industria de la construcción, promoviendo procesos más eficientes y sustentables en el medio ecuatoriano.

Palabras claves:

Fibras de acero, Desechos de acero, Resistencia a la tracción indirecta, Construcción sustentable, Materiales innovadores, Sostenibilidad en la construcción.

Effects of waste steel scrap as reinforcing material on the mechanical properties of concrete

Abstract:

This article analyzes the impact of including steel fibers, derived from scrap steel waste, as aggregates in concrete mixtures, evaluating the resulting mechanical properties compared to traditional mixtures. Using a methodology based on indirect tensile testing with cylindrical probes and comparative results, the study seeks to determine whether this component improves the strength and durability of the material. The study is complemented by a literature review of previous research. The results obtained will identify the potential of steel fibers as a sustainable and viable resource in the construction industry, promoting more efficient and sustainable processes in the Ecuadorian environment

Keywords:

Steel fibers, Steel scrap, Indirect tensile strength, Sustainable construction, Innovative materials, Sustainability in construction.



Check for updates

Cita: Naula-Vázquez, J. E., Maldonado-Noboa, J., & Avila-Calle, M. (2025). Efectos de los desechos de acero como material de refuerzo en las propiedades mecánicas del hormigón. Green World Journal, 08(02), 218. <https://doi.org/10.53313/gwj82218>

Received: 20/May/2025
Accepted: 12/June/2025
Published: 13/June/2025

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: Camera remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2025 Camera license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.
Creative Commons Attribution (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

1. Introducción

El hormigón, se ha convertido en un material estructural base para la industria de la construcción debido a su gran condición de adaptarse a una gran variedad formas y dimensiones. Desde tiempos antiguos, se han empleado variedad de elementos para reforzar el hormigón que permitan mejorar sus características (Mármol Salazar, 2015).

El interés por la optimización de las propiedades mecánicas del hormigón, que permita mejorar su calidad, durabilidad y economía, ha generado que se lleven a cabo numerosas investigaciones sobre el tema. Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y dosificación de los componentes de su mezcla (Romo Proaño, 2010). El objetivo del diseño o dosificación de hormigones es obtener un producto que posea determinadas propiedades, tanto en estado fresco como endurecido, que garantice la adecuada respuesta del material a las diferentes exigencias de la obra. Tal como lo expresa (Vega, 2016) en su proyecto de investigación, el hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil a solicitaciones de tracción, razón por la cual, con el paso de los años se ha buscado añadir componentes extras, entre los que se puede mencionar aditivos químicos, microfibras, fibras de hierro, y demás, que permitan mejorar sus propiedades mecánicas.

En la actualidad, el avance de la tecnología en los materiales de construcción ha permitido incorporar variedades de subproducto en diseños de mezcla de hormigón. En su libro (**Mccorman & Brown, 2014**), mencionan que uno de los componentes más examinados para el reforzamiento de las propiedades del hormigón son las fibras de acero ya que estas, repartidas de manera aleatoria dentro de la mezcla, proporcionan resistencia adicional en todas sus direcciones, elimina la falla súbita y le confiere al material una mayor ductilidad, mejorando así sus características mecánicas. El hormigón reforzado con fibras, según la definición del (ACI 318, 2005), no es más que hormigón hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo áridos finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas. Estas fibras que complementan la mezcla de hormigón se conocen como aquellas fibras de acero estiradas en frío o molidas de bloques de acero, fragmentos rectos de acero estirado en frío y/o aquellas producidas como desechos de acero por procesos mecánicos (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008).

La importancia del estudio de las nuevas tecnologías del hormigón y su aplicación radica en que el hormigón, al incorporarse a las obras de construcción, se transforma en un recurso importante para el país, por lo que su utilización debe garantizar bienestar, seguridad, economía y desarrollo social duraderos (Rosario & Danilo, 2019). Tal como lo expresa (Efrén Espinosa-Espinosa et al., 2022), en su proyecto de investigación, las complejidades de las estructuras desarrolladas en la actualidad no deben solo superarse con un adecuado diseño estructural sino también se debe incorporar y tomar en consideración los avances tecnológicos de los materiales constructivos que permitan satisfacer los requerimientos y mejorar apreciablemente sus características.

Las exigencias de la obra, así como la disponibilidad de fibras de acero dentro del mercado, establecerán las condiciones de uso, tipo y dimensiones de las fibras a ser utilizadas para obtener las características mecánicas deseadas del hormigón. La efectividad de incorporar este producto debe ir de la mano de una correcta apreciación del tipo de material que se esté utilizando y sobre todo de una correcta dosificación de fibras (**Macanás Merola & Loma Ramirez, 2014**). Ya lo menciona (SIKA, 2011), en su informe técnico, las fibras o fibras de acero incluidas en mezclas de mortero o en un concreto, han generado una serie de creencias que se han convertido en complejas confusiones o malinterpretaciones, razón por la cual es necesario una correcta interpretación de su utilización.

Para abordar este tema de investigación de tipo aplicada y cuantitativa, detallada como aquella búsqueda y recolección de acontecimientos y hechos de una problemática actual y de interés que permita comprobar una hipótesis de estudio (Hernández Sampieri et al., 1991), la orientación del presente trabajo estará constituida por una primera parte la cual se enfocará en la realización de ensayos de tracción indirecta de probetas cilíndricas para tomas de muestras de hormigón que, en su mezcla, contengan desechos de acero, frente a hormigones con mezcla tradicional. Este proceso será utilizado ya que, como menciona la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC – SE – HM, 2014. Este punto será tratado mediante los dictámenes establecidos en las normas (NTE INEN 1855 – 1, 2015) y (NTE INEN 1855 – 2, 2015)

Una segunda parte conllevará una recopilación informativa, de los principales aspectos teóricos y prácticos, de bases de datos científicas que permitan compilar información relevante de los estudios realizados. Las técnicas de recolección de datos le brindan el sentido y camino a seguir a la investigación. Estas técnicas son las responsables de conducir el proceso a la verificación del problema planteado (Behar Rivero, 2008). Con la información recabada se procederá a una tercera y cuarta parte que, tienen como objetivo, la presentación y análisis de datos que contrasten el aumento de las propiedades mecánicas del hormigón, en temas de su resistencia, para su final discusión y presentación de los resultados. Según (Vara Horna, 2010), los datos recolectados por los instrumentos de medición requieren ser procesados, resumidos, graficados, y evaluados, he ahí donde entra a tallar el método de análisis.

El objetivo de lo antes mencionado es analizar la influencia que tiene la incorporación de desechos de acero en mezclas de hormigón, mediante ensayos técnicos, de tal manera que permita evaluar su adecuada aplicación en procesos de construcción sustentable, así como generar una base sólida de comparación.

Con los resultados obtenidos se pretende generen un enfoque crítico y apropiado que permitan exponer si la utilización de desechos de acero, en mezclas de hormigón, incrementa su propiedad mecánica en una variación significativa que garantice mejoras en temas de economía, calidad y durabilidad, de tal manera que posibilite su utilización en futuros procesos constructivos empleados dentro del medio ecuatoriano.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizará en la ciudad de Azogues, capital de la provincia del Cañar.

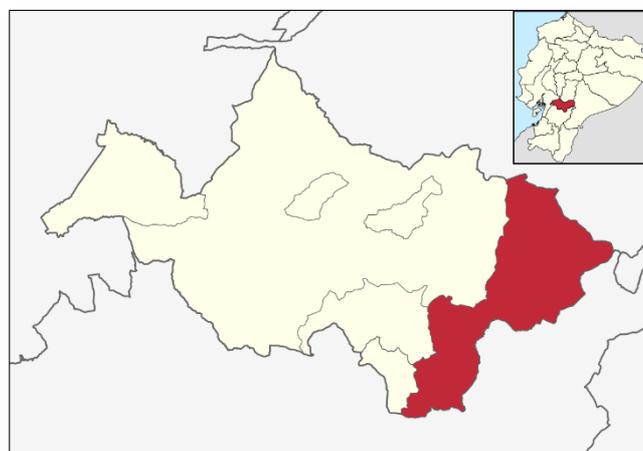


Ilustración 1. Mapa representativo de la zona del estudio investigativo.

2.2. Materiales

Según la norma ecuatoriana de la construcción (NEC – SE – HM, 2014), el hormigón se define como un material de construcción constituida por una base de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y/o aditivos químicos que mejoraran sus características en función de su utilización. En su estado líquido presenta una gran maleabilidad que permite adaptarse a variedad de formas; mientras que en su estado sólido se caracteriza por su gran resistencia a la compresión.

La calidad de los materiales, así como una adecuada dosificación, interviene en una adecuada respuesta de las propiedades mecánicas del hormigón. Una adecuada distribución de estos nos permitirá generar las respuestas necesarias a las diferentes exigencias de la obra. Los componentes básicos que se incorpora en una mezcla de hormigón se definen a continuación:

- **Materiales cementantes**

El cemento es un material aglomerante, derivado de un proceso especial de combinación de arcillas, calizas y yeso, que cumple la función de adherencia y cohesión de los diferentes componentes del hormigón (Romo Proaño, 2010).

Todos los ensayos y tolerancias referentes a los principales requisitos que debe cumplir los materiales cementosos se basan en las normas INEN correspondientes, mismas que se mencionan en la siguiente tabla:

Tipos de Ensayo	Ensayo INEN
Análisis químico	INEN 152
Finura	INEN 196, 197
Tiempo de fraguado	INEN 158, 159
Consistencia normal	INEN 157
Resistencia a la compresión	INEN 488
Resistencia a la flexión	INEN 198
Resistencia a la tracción	AASHTO T – 132

Tabla 1. Ensayos de comprobación del cemento – (Obras Publicas, 2002)

- **Agregados gruesos**

Se conoce como agregado grueso al material formado por grava, roca triturada o una mezcla de estas, y que por su tamaño quede retenido en el tamiz número 4 (4.75 mm). Los requisitos de granulometría y calidad de los agregados gruesos, utilizados en el hormigón, se establece en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 872, equivalente a la norma AASTM C33.

- **Agregados Finos**

Los agregados finos utilizados en el hormigón estarán formados por arena natural, arena de trituración o una mezcla de ambas. El tamaño de las partículas para los agregados finos se encuentra entre 0.07 mm y 5 mm (Romo Proaño, 2010). De igual manera que los agregados gruesos, los requisitos de granulometría y calidad de los agregados finos se establece en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 872, equivalente a la norma AASTM C33.

- **Agua**

El agua en la mezcla de hormigón permite que se produzca la reacción del cemento con los demás componentes y se genera la pasta de cemento. Nunca se debe emplear agua de mar ya que su gran contenido de salinidad afecta las propiedades del hormigón. El agua

para la fabricación de hormigones deberá cumplir los porcentajes máximos de impurezas, presentadas en la siguiente tabla.

Impurezas	%
Acidez y alcalinidad calculadas en términos de carbonato de calcio.	0,05
Sólidos orgánicos total.	0,05
Sólidos inorgánicos totales.	0,05

Tabla 2. Tolerancias máximas para la utilización de agua en la fabricación de hormigón – (*Obras Publicas, 2002*)

- Aditivos

Son compuestos químicos que, empleados como ingrediente en mezclas de hormigón, modifican sus propiedades bien sea en estado fresco o en estado endurecido. Según los objetivos de trabajabilidad que se consideren necesarios para la obra, los aditivos pueden ser del tipo: acelerantes o retardantes del proceso de fraguado, reductores de porcentajes de agua utilizados en la mezcla, inclusores de aire, impermeabilizantes, etc. Antes de la utilización de cualquier tipo de aditivo estos deben ser aceptados conforme con los objetivos y métodos de construcción (**Mccorman & Brown, 2014**).

- Materiales de refuerzo – Fibras de Cero:

Los materiales utilizados como refuerzo en mezclas de hormigón, del tipo fibras de acero, constituyen aquella materia prima de acero estiradas en frío o molidas de bloques de acero, fragmentos rectos de acero estirado en frío y/o aquellas producidas como desechos de acero por procesos mecánicos. Estas se dispersan y distribuyen de manera adecuada dentro de la masa del hormigón de tal manera que se utilización contribuya de manera óptima a las características mecánicas de un elemento de hormigón. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008).

Según la Norma Ecuatoriana de la construcción, (NEC – SE – HM, 2014), los requisitos básicos para la utilización de fibras de acero como refuerzo de hormigón se presentan a continuación:

- Material: Acero de bajo contenido de carbono trefilado en frío.
- Acabado: pueden ser de acero negro pulido o galvanizadas.
- Resistencia nominal a la tracción: desde 1160 N/mm² hasta 1345 N/mm² con tolerancias de $\pm 7.5\%$ promedio.
- Longitudes: desde 30 mm hasta 60 mm
- Diámetros: desde 0.55 mm hasta 1.05 mm
- Normas de referencia: ASTM A820, ASTM C1609, ACI 544.3r y CE EN 14889-1.

En función de la finalidad estructural que se contemple a la hora de la utilización de fibras de acero en mezclas de hormigón, la (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008), nos indica que, si se considera el aporte de la resistencia de las fibras de acero en los cálculos relativos de los estados límites de servicio o últimos y su empleo puede implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones, se establece que dicha participación tendrá una finalidad estructural. Por otro lado, se establece que el empleo de fibras de acero es no estructural cuando se lo realiza con el objetivo de mejorar el control de fisuras o su resistencia al fuego de elementos de hormigón y su presencia no interviene en los cálculos de sus propiedades.

Como lo presenta (Caballero, 2017), la eficacia a la hora de utilizar fibras de acero como material de refuerzo esta estrechamente relacionada con el tipo y características de dicho material, por ello

que, en la siguiente tabla, se presenta los materiales más utilizados para la fabricación y adición en elementos de hormigón indicando sus principales características.

Tipo de Fibra	Diámetro Equivalente (mm)	Densidad (Kg/m^3)	Resistencia a Tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alargamiento de Rotura (%)
Acrílico	0,02 – 0,35	1100	200 – 400	2	1,1
Vidrio	0,005 – 0,15	2500	1000 – 2600	70 – 80	1,5 – 3,5
Nylon	0,02 – 0,4	1100	760 – 820	4,1	16 – 20
Acero	0,15 – 1	7840	345 – 3000	200	4 – 10

Tabla 3. Tipos de fibras más comunes y sus propiedades – Fuente: (Caballero, 2017)

En base de lo expresado anteriormente y en función de la disponibilidad de los materiales dentro de la zona de investigación, para el presente trabajo se estableció el uso de materiales que se señalan a continuación:

- **Materiales Cementantes:** Este material corresponden al tipo cemento hidráulico GU de alta durabilidad que cumple la norma técnica ecuatoriana INEN 2380, denominado requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. El material es producido con Clinker, adiciones de minerales y sulfato de calcio, los cuales son dosificados en la molienda obteniendo un producto de alta calidad.
En cumplimiento de lo dispuesto en la norma señalada, el material cementoso utilizado corresponde al producido por la unión cementera nacional Guapán.
- **Agregado Grueso y Fino:** Los componentes de agregados gruesos y finos utilizados para la mezcla de hormigón, provienen de la minera Rookaazul Cia. Ltda., la cual se desempeña en prácticas de extracción y procesamiento de minerales.
- **Fibras de Acero:** La incorporación de fibras de acero proceden de desechos obtenidos mediante técnicas de torneado del acero. El torneado es un proceso de mecanizado en el que se utiliza un torno para rotar el metal mientras una herramienta de corte se mueve linealmente para retirar el metal a lo largo del diámetro, creando una forma cilíndrica.
Para el manejo y uso del material, se acató los requisitos básicos para la utilización de fibras de acero como refuerzo de hormigón presentado en la norma técnica ecuatoriana INEN 2874, NEC – SE– HM, y demás normas internacionales sujetas al tema de estudio.

2.3. Métodos

La estrategia metodológica proyectada para la presente investigación se basará en los principios de calidad del hormigón presentados por la norma ecuatoriana de construcción en sus guías NTE INEN 1855 – 1 y NTE INEN 1855 – 2, las cuales tienen como finalidad establecer las especificaciones para la producción y requerimientos de calidad del hormigón. Además, se contará con las recomendaciones de documentos normativos vigentes y normas reconocidas internacionalmente.

2.3.1. Método de diseño de mezclas

A la hora de cuantificar los materiales que componen una mezcla de hormigón se requiere establecer de manera clara el uso que tendrá dicha mezcla en términos de resistencia y trabajabilidad, además de considerar las propiedades mecánicas conforme con los objetivos y métodos de construcción. (NTE INEN 1855 – 2, 2015)

Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla, y de las condiciones de humedad y temperatura, durante los procesos de fabricación y de fraguado.

La norma ecuatoriana de la construcción (NTE INEN 1855 - 2, 2015) nos define las acciones pertinentes de medición y mezclado, mismos que se detallan a continuación:

- Durante los procesos de medición y mezclado, comprobar la homogeneidad de los materiales.
- Cuantificar de manera óptima las cantidades necesarias de cada material en función de las características mecánicas que se espere obtener.
- Comprobar un adecuado proceso de mezclado de todos los materiales, teniendo presente los tiempos mínimos y máximos que requiere dicho proceso.

La cuantificación de materiales puede basarse en diseños de obras similares que permitan obtener las propiedades requeridas de los elementos de hormigón. Para dar cumplimiento a lo mencionado, se deberá presentar una tabla donde se detalle las cantidades de los materiales a ser utilizados.

Cantidad de Materiales empleados para el diseño de mezcla de hormigón		
Material	Cantidad	Unidad
Cemento	----	Kg
Agregado Fino	----	Kg
Agregado Grueso	----	Kg
Agua	----	Kg
Aditivo	----	----
Otros	----	----
Total	-----	

Tabla 4. Tabla tipo de detalle de cantidades de los materiales en mezclas de hormigón. – Fuente: (NEC - SE - HM, 2014)

2.3.2. Método para la determinación de trabajabilidad (Asentamiento) del Hormigón

La trabajabilidad del hormigón será seleccionada por parte del diseñador con la finalidad de generar un hormigón homogéneo y en función del tipo de elemento estructural, tecnología de puesta en obra, uso de aditivos, tipo de compactación, etc. El método utilizado para la cuantificación de trabajabilidad se denomina Asentamiento del Cono de Abrams. Dicho método establece que mientras mayor es el asentamiento, el hormigón es más trabajable y viceversa (Norma cubana nc 250: 2005 requisitos de durabilidad para el diseño y construcción de edificaciones y obras civiles de hormigón estructural, 2005).

El proceso para la determinación de la trabajabilidad consiste en colocar una mezcla de hormigón dentro de un molde con forma de cono truncado, con diámetros internos de 200 mm en la base, 100 mm en la parte superior y altura de 300 mm. La mezcla debe ser colocada en un número máximo de tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde, asegurando una distribución uniforme del hormigón. Cada capa debe ser compactada con 25 golpes mediante la utilización de una varilla de compactación. Una vez realizado el proceso de colocación se debe retirar el molde del hormigón levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde en su altura de 300 mm en $5s \pm 2s$ con un movimiento ascendente uniforme y sin movimientos laterales o de torsión. Inmediatamente medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre

la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Dicha distancia vertical se reporta como el grado de trabajabilidad de la mezcla.

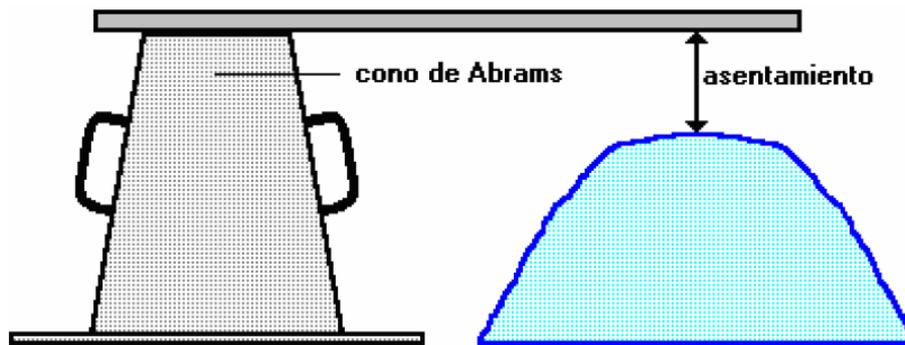


Ilustración 2. Determinación de la trabajabilidad – Método de cono de Abrams – Fuente: (Romo Proaño, 2010).

En la siguiente tabla se define las especificaciones de rango de asentamiento para mezclas de hormigón y su valoración cualitativa o de trabajabilidad:

Tipo	Valoración Cualitativa	Asentamiento en mm
A1	Seca	10 a 40
A2	Plástica	50 a 90
A3	Blanda	100 a 150
A4	Fluida	160 a 210
A5	Muy Fluida	≥ 220

Tabla 5. Tipos de Asentamiento mediante el Cono de Abrams – Fuente: (Autor, 2025).

2.3.3. Método de elaboración de probetas

Los requerimientos de curado y protección para los procedimientos de fabricación de probetas de hormigón necesarias para pruebas de laboratorio se establecen en la norma técnica ecuatoriana la norma INEN 1576 que se fundamenta en la norma ASTM C31.

Los principales puntos que se deben considerar para la elaboración de probetas se detallan a continuación:

- **Moldes:** Una de las principales características de los moldes para la fabricación de probetas de hormigón es que deberá mantener sus dimensiones y forma una vez realizados el pertinente proceso de colocación de la muestra, esto garantiza que el espécimen no se ve afectado a la hora de su curado. Generalmente estos moldes son de acero o hierro fundido. Las condiciones necesarias para una correcta utilización de los moldes se establecen en la norma técnica ASTM C 470.

Antes del proceso de vertido de la mezcla, se recomienda que los moldes se encuentren recubiertos con aceite mineral o un material desmoldante no reactivo que permita un adecuado retiro de este una vez se cumpla los tiempos pertinentes de fraguado.

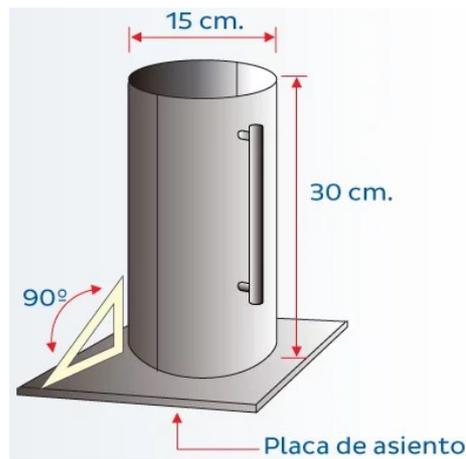


Ilustración 3. Molde tipo para probetas de Hormigón. – Fuente: (Romo Proaño, 2010)

- Colocación de la muestra:
 - Una vez recubierto el molde con aceite mineral o un material desmoldante se procederá a verter la mezcla de hormigón con la utilización de un cucharón, una cuchara de albañil despuntada o una pala. Se deberá asegurar una distribución simétrica a lo largo de todo el molde evitando la segregación del agregado grueso.
 - Compactar la muestra de hormigón con la utilización de una varilla compactadora previo al inicio de la consolidación.
 - El número de capas requeridas, en función del diámetro del molde, para los especímenes se indican en la siguiente tabla:

Tipo y tamaño de espécimen	Modo de Consolidación	Número de capas Igual profundidad
Cilindros		
Diámetro (mm)		
75 a 100	Varillado	2
150	Varillado	3
225	Varillado	4
Hasta 225	Varillado	2

Tabla 6. Número de capas requeridas para los especímenes.

- Las probetas deben sacarse de sus moldes después de 24 horas y antes de 48 horas, y colocarlo en un tanque de agua.
- Identificar las probetas con los datos mínimos que aseguren su adecuada representación. Estos pueden ser: día de elaboración de la muestra, número de espécimen, resistencia. Utilice un procedimiento que no afecte la superficie superior del hormigón.

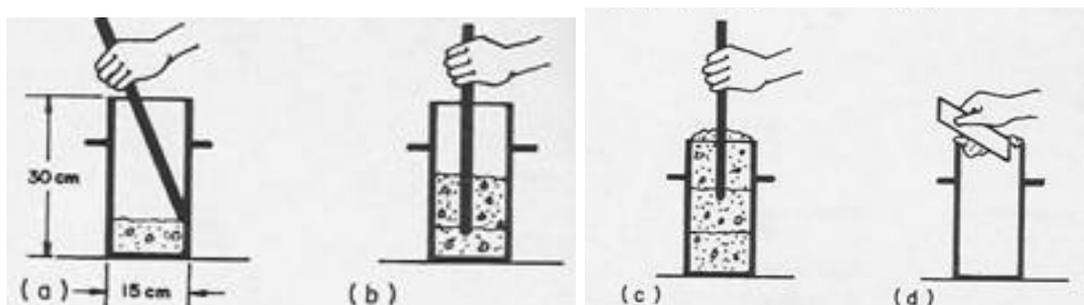


Ilustración 4. Pasos para la elaboración de especímenes de hormigón.

Se recomienda que, para el cálculo de resistencia de especímenes de hormigón, se fabrique como mínimo dos probetas de hormigón que permita relacionar los resultados y validar de mejor manera la resistencia obtenida. Las probetas deberán ser elaboradas al mismo tiempo y de la misma muestra de hormigón siguiendo las recomendaciones establecidas en la norma NTE INEN 1576 o ASTM C31.

- Acta de Muestreo: La norma técnica ecuatoriana INEN 1763, establece que en cualquier procedimiento de muestreo utilizado se debe levantar un acta en donde conste al menos la siguiente información:
 - Lugar, fecha y hora del muestreo.
 - Nombre del proyecto u obra.
 - Nombre del proveedor del hormigón.
 - Número de guía de remisión (premezclado) o número de la parada (hormigón elaborado en obra).
 - Punto de la toma de la muestra.
 - Procedimiento utilizado en el muestreo.
 - Número de identificación de la muestra.
 - Elemento fundido.
 - Condiciones climáticas durante el muestreo.
 - Nombre y firma del técnico calificado que tomó la muestra.
 - Observaciones.

2.3.4. Método de estimación de resistencia del hormigón

Se recomienda que las pruebas de resistencia del hormigón sean llevadas a cabo por un Técnico en Pruebas de Hormigón o su equivalente, de manera que se puede evitar las desviaciones debidas a los métodos de prueba y muestreo (NEC – SE – HM, 2014). Para cada prueba de resistencia se establece una normativa a seguir que será la base del ensayo. La norma AASHTO T 22 o ASTM C 39 regirá para las pruebas de resistencia de compresión. La resistencia a flexión será llevada a cabo en base de lo establecido por las normas AASHTO T 97 (ASTM C 78) o AASHTO 198 (ASTM C 496), tal como se establece en la norma técnica ecuatoriana (NEC – SE – HM, 2014).

El cálculo de la resistencia a la tracción de las probetas de hormigón nos ayudara a controlar y establecer un cálculo para el estudio del tamaño y extensión de las grietas que se presentan cuando los elementos son sometidos a la aplicación de cargas. Estudios han determinado que la resistencia a la tensión del concreto no varía en proporción directa a su resistencia última f'_c a compresión, sin embargo, se ha demostrado que su valor fluctúa entre el resultado de la raíz cuadrada de f'_c . Sin embargo, esa resistencia es muy difícil de corroborar o medir mediante la aplicación de cargas axiales directas de tensión debido a la dificultad de alinear las cargas. Consecuencia de esto, se ha desarrollado una prueba de cálculo indirecta para medir la resistencia a tensión del concreto. Esta se denomina prueba de corte indirecto o prueba radial de cilindro (McCorman & Brown, 2014).

La prueba de corte directo consiste en colocar un cilindro o espécimen de hormigón horizontalmente dentro de la máquina de prueba. Tanto en la parte superior como en la inferior (a lo largo del cilindro) se colocan cartones para la aplicación de carga de compresión uniformemente lineal y transversal. Se le aplica una carga de compresión uniforme a lo largo de la longitud del cilindro, que está apoyado a todo lo largo de la base. El cilindro se fracturará a la mitad de extremo a extremo cuando se alcance su resistencia a la tensión (McCorman & Brown, 2014).

El esfuerzo de tensión en que ocurre la rotura se denomina resistencia radial del cilindro y puede calcularse con la siguiente expresión:

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

Donde:

f_t = Esfuerzo de tensión.

P = Carga de Rotura.

L = Longitud del cilindro.

D = Diámetro del cilindro.

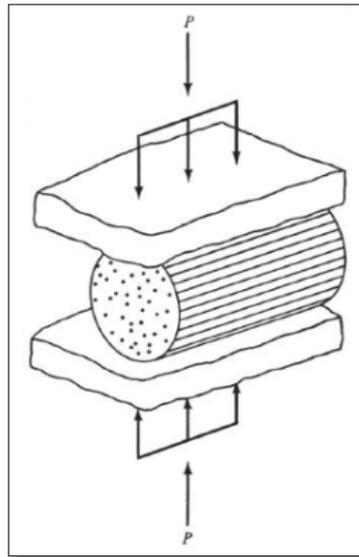


Ilustración 5. Prueba indirecta de tracción – (McCorman & Brown, 2014).

En la norma (Obras Publicas, 2002), se establece que cuando se haya determinado la resistencia a la tracción, por medio de los especímenes ensayados en laboratorio, se consideraran estructuralmente adecuados cuando se cumpla con una de las siguientes disposiciones:

- Se deberá obtener, por lo menos, una resistencia promedio de vigas ensayadas según la Norma ASTM – C78 igual al 85% del módulo de Ruptura. Además, en ningún caso una viga ensayada podrá registrar una resistencia menor que el 75% de dicho módulo.
- La resistencia promedio de los núcleos ensayados según la Norma ASTM – C42, deberá ser por lo menos igual al 60% del módulo de Ruptura y, en ningún caso, un núcleo podrá registrar una resistencia menor del 54% de dicho modulo.

- Control de fisuras

Una de las características del hormigón es que, cuando no están cargados, presentan un número limitado de fisuras de adherencia entre el agregado grueso y el mortero, producto de la retracción de fraguado. Cuando se aplica una carga progresiva, hasta alcanzar un 70 % de su esfuerzo de rotura, las fisuras de adherencia se incrementan tanto en número como en longitud, lo que añadido a la deformabilidad de los materiales permite mantener una relativa linealidad entre los esfuerzos y las deformaciones. Al momento de aproximarse al 90% del esfuerzo de rotura, las fisuras de adherencia crecen exponencialmente y dan paso a las fisuras de mortero, lo que genera rajaduras continuas que terminan produciendo la rotura total del hormigón (Romo Proaño, 2010).

En la actualidad una de las alternativas que se estudia para el control de fisuras en la resistencia a tracción del concreto es la adición de fibras de acero. Al añadir fibras de acero en las mezclas de

hormigón se plantea que dichas fibras actúen como una costura al momento de que se genere el agrietamiento del hormigón incrementando su resistencia a la adherencia y que puedan actuar en parte, como un armado transversal (Caballero, 2017).

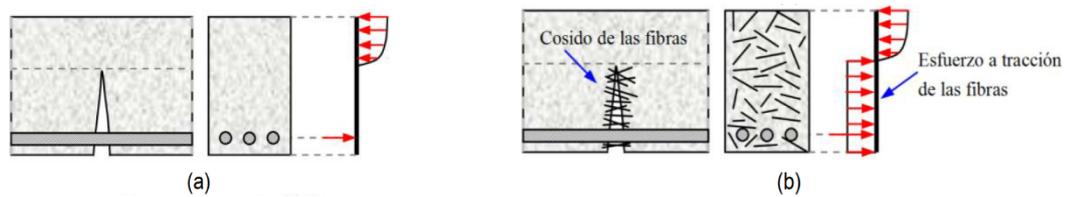


Ilustración 6. Distribución de tensiones: (a) Concreto armado sin fibras de acero, (b) Concreto armado reforzado con fibras de acero.

A fin de controlar los criterios del ancho de grietas que se puedan presentar en hormigones, la NC 250:04, presenta un análisis del ancho permisible de las grietas que garantice una correcta protección y durabilidad. Cabe recalcar que que el ancho de fisura no siempre es un indicador confiable en el control de la corrosión del acero.

Agresividad	Hormigón
Muy Alta	0,15 – 0,2
Alta	0,25
Media	0,3
Baja	0,35

Tabla 7. Máxima abertura de fisura por requerimiento de durabilidad (mm).

3. Resultados

Diseño de mezcla

En consideración que, la dosificación de mezclas de hormigón puede basarse en diseños de obras similares, el cálculo de cantidades para el diseño de la mezcla necesario para el presente trabajo de investigación se corrobora por medio del estudio comparativo del concreto de una resistencia a la compresión de $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ efectuado por (Banegas, 2024).

Los materiales empleados corresponden a los disponibles dentro de la zona de estudio del proyecto, los cuales guardan relación con la publicación antes señalada, garantizando de esta manera la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla.

La siguiente tabla indica las proporciones de materiales utilizados en la fabricación y elaboración de las probetas de hormigón utilizadas en el presente trabajo de investigación (Volumen de hormigón igual a 28 litros).

Cantidad de Materiales empleados para el diseño de mezcla de hormigón		
Material	Cantidad	Unidad
Cemento	11,45	Kg
Agregado Fino	23,19	Kg
Agregado Grueso	24,11	Kg
Agua	5,78	Kg
Aditivo	0,00	----

Otros	0,00	----
Total	64,52	

Tabla 8. Tabla de detalle de cantidades de los materiales en mezclas de hormigón – Fuente: (Autor, 2025)

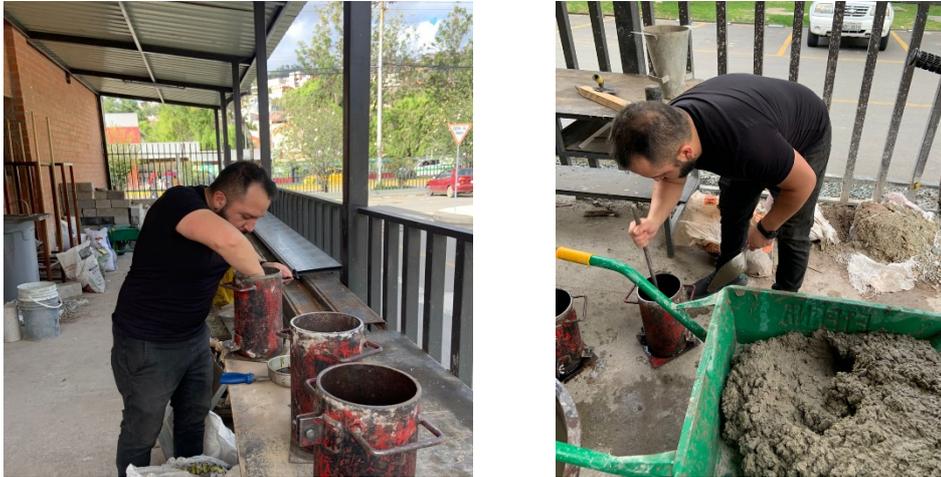


Ilustración 7. Proceso de Tomas de muestra de mezcla de hormigón – Fuente: (El Autor, 2025).

- **Fibras de acero**

Como lo menciona la (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008), la efectividad de la dosificación de fibras de acero para la utilización en mezclas de hormigón varía en función de sus características y dimensiones. Si bien no se especifica un contenido mínimo de fibras, cuando se utilice fibras de acero con función estructural no es recomendable utilizar dosificaciones inferiores a 20 kg/cm³ de hormigón. El empleo de dosificaciones altas conlleva un descenso de la consistencia y un mayor riesgo de formación de bolas de fibras que se segreguen del hormigón.

Para la presente investigación se utilizó chatarra de acero residual cuyas formas se presentan de forma recta y en espiral, como se puede apreciar en la ilustración 8. Se acató los requisitos básicos para la utilización de fibras de acero como refuerzo de hormigón presentado en la norma técnica ecuatoriana INEN 2874, NEC – SE- HM, y demás normas internacionales sujetas al tema de estudio.

En consideración de estipulado, para la elaboración de probetas y pruebas de ensayo se incorporó un porcentaje de fibras de acero igual al 1,00% del volumen del hormigón.



Ilustración 8. Fibras de acero utilizadas para el presenta trabajo de investigación – Fuente: (Autor, 2025)

Trabajabilidad

En base a la norma técnica ecuatoriana INEN 1578, se llevó a cabo el análisis de trabajabilidad (asentamiento) de las muestras de hormigón que contienen fibras de acero, frente a hormigón de mezcla tradicional. Para ello se utilizó el método de cálculo cuantitativo denominado el Asentamiento del Cono de Abrams.

Efectuado el proceso correspondiente, se puede observar que la trabajabilidad de la mezcla de hormigón se vio afectadas con la utilización de fibras de acero en comparación con la mezcla de hormigón tradicional. El factor principal, para la pérdida de docilidad, se debe al empleo de fibras de acero y cuya magnitud será función del tipo y longitud de las fibras empleadas, así como de la cuantía de fibras dispuestas.

Es importante tener presente una adecuada colocación de las fibras de acero, previniendo de esta manera la mala dispersión de estas dentro de la mezcla. Esto puede generar la formación de pelotas de fibras en la mezcla lo que dificultara su adecuada trabajabilidad y manipulación.

En la siguiente tabla se presenta las medidas de asentamiento obtenidas en función de la aplicación del Cono de Abrams.

Nro. de muestra	Tipo de Concreto	Resistencia	Asentamiento (cm)	Observaciones
1	Hormigón CON fibras de acero	240 K_g/cm^2	6.0	
2	Hormigón SIN fibras de acero	240 K_g/cm^2	8.0	

Tabla 9. Asentamiento de muestras de hormigón – Fuente: (El autor, 2025)

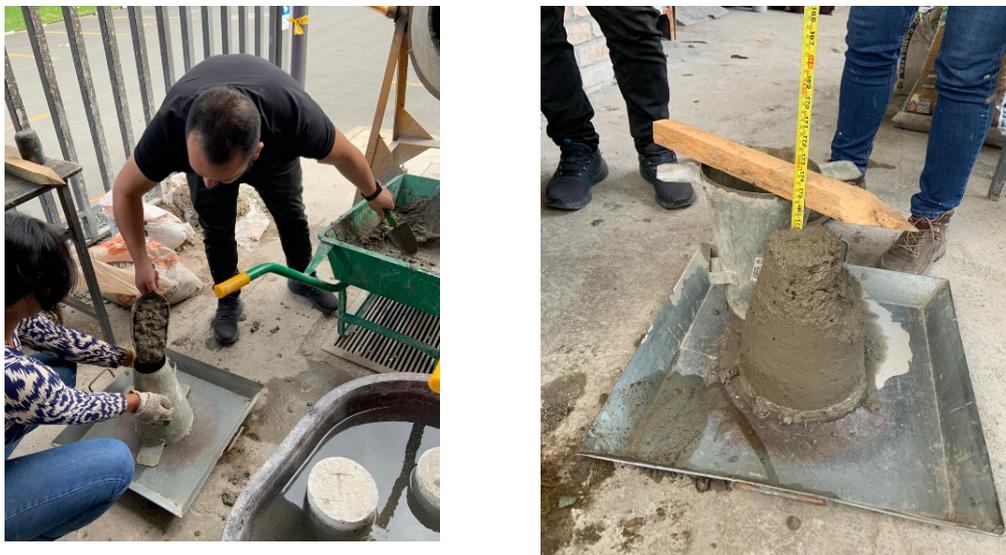


Ilustración 9. Proceso de cálculo de trabajabilidad del hormigón mediante el ensayo de cono de Abrams – Fuente: (El Autor, 2025).

Resistencia del hormigón a tracción directa

Los ensayos de tracción indirecta se realizaron en el laboratorio de construcción de la Universidad Católica de Cuenca sede Azogues bajo la mentoría del personal encargado del laboratorio. Las muestras se cargaron uniaxialmente utilizando la máquina de ensayos de compresión universal.

Las pruebas de tracción indirecta se realizaron sobre probetas estandarizadas por la norma ASTM C 470, en muestras de hormigón con y sin contenido de desechos de acero, con tiempos de curado de veintiocho días. Generalmente a la hora de aplicar cargas a las probetas de hormigón, mediante el ensayo de tracción indirecta, se puede determinar la resistencia a primera fisura, la resistencia a rotura por flexo tracción y la resistencia residual a flexo tracción. Para el presente caso de estudio se analizaron las dos primeras resistencias de carga.

- Resultados de resistencia a la tracción directa para probetas ensayadas a los 28 días.

Tracción Indirecta a los 28 días						
Norma: NTE INEN 2648:2013						
<u>Muestra sin adición de fibras de acero</u>						
Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la tracción directa (Kg/cm ²)	Resistencia a la tracción directa promedio
1	15,06	30,01	176,20	17440	24,566	
2	14,98	30,08	178,00	18120	25,601	25,028
3	15,06	30,01	176,20	17690	24,981	
<u>Muestra con adición de fibras de acero</u>						
1'	14,98	30,08	178,00	32630	46,101	
2'	14,94	30,02	176,00	32871	46,659	46,287
3'	15,16	30,09	177,00	33034	46,102	

Tabla 10. Resistencia a la tracción indirecta obtenidas a los veintiocho días – Fuente: (Autor, 2025).



Ilustración 10. Ensayo de probetas para el cálculo de resistencia a la tracción indirecta – Fuente: (El Autor, 2025).

A continuación, se presenta de manera ilustrativa los valores registrados en las pruebas de tracción indirecta cuantificadas para las probetas ensayadas.

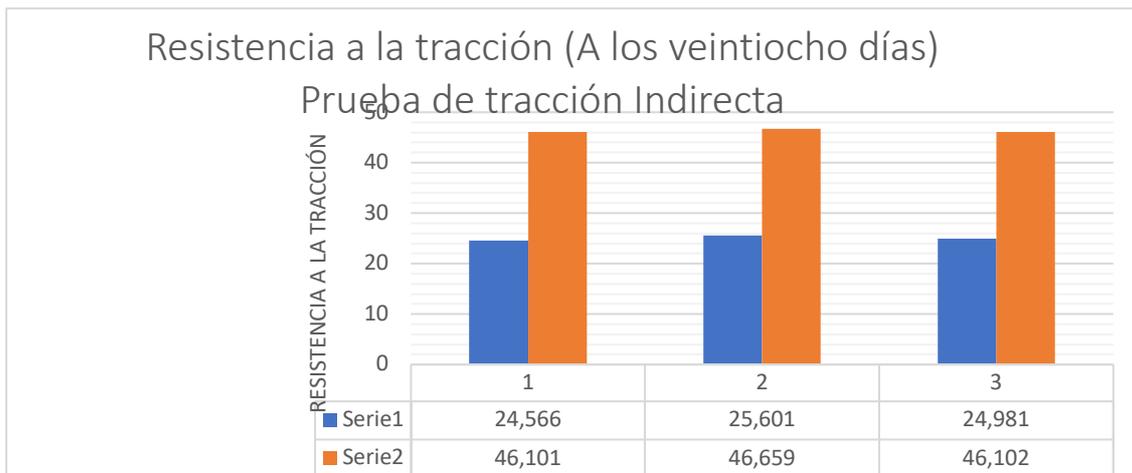


Ilustración 11. Resistencia a tracción indirecta en probetas de hormigón con fibras de acero y sin fibras de acero – Fuente: (Autor, 2025).

- Interpretación de la figura

La resistencia a tracción indirecta efectuada en probetas de $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$, presentada en la figura, demuestra un incremento en la resistencia a la tracción indirecta relevante. Para una dosificación de fibras de acero igual 1,0% se puede observar un incremento alrededor del 90% en comparación al hormigón simple (sin fibras de acero).

Control de fisuras

Finiquitado las pruebas de tracción indirecta, y mediante un análisis comparativo visual, se determinó que los hormigones reforzados con fibras de acero, frente a hormigones de mezcla normal, presentaron una mejor respuesta ante la fisuración generando un aumento de su tenacidad y una falla mucho más dúctil y controlada. La añadidura de fibras de acero confirma el hecho de que su incorporación trabajan como una costura en zonas de fisura generada.

Fisuras generadas en mezclas de hormigón tradicional.



Fisuras generadas en mezclas de hormigón con adición de fibras de acero.



Ilustración 12. Análisis comparativo visual de fisuración para probetas de hormigón ensayadas – Fuente: (Autor, 2025).

4. Discusión

Las propiedades mecánicas del hormigón reforzado con desechos de acero frente al hormigón simple generaron una reacción positiva a la hora de su cuantificación y análisis. La distribución al azar de las fibras de residuos es más efectiva en términos de absorción de la energía de impacto y resistencia a la fisuración además de su capacidad para controlar la formación de fisuras, esto se puede corroborar con los resultados obtenidos de las resistencias a tracción indirecta llevadas a cabo.

En la investigación acerca de las propiedades mecánicas del hormigón con adición de desechos de acero con valores iguales a: 0%; 0,5%; 0,75% y 1,5% de volumen de hormigón, llevadas a cabo en el Laboratorio de Materiales de Construcción del Instituto Tecnológico de Jimma, por (Shewalul, 2021), se encontró que los resultados de la prueba de la resistencia a la compresión aumentó en un 26,8% para un valor de desechos de acero igual a 0,5%, 30,7% para el 0,75% y se redujo en un 5,3% para el 1,5% en volumen de hormigón. Además, la resistencia a la tracción aumentó un 11,2 % con el 0,5 %, un 5,8 % con el 0,75 % y un 2,5 % con el 1,5 % en volumen de hormigón. En comparativa a los resultados mencionados, el estudio titulado evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón reforzado con fibras de acero en la ciudad de Azogues, provincia del Cañar, realizado por (Jaime Luciano, 2018), corrobora que la adición de fibras de acero con un valor de adición igual al 1,15% de volumen de hormigón, incremento en la resistencia a la tracción, alrededor de un 82% para la dosificación de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en comparación al hormigón de mezclas normales.

Destacando los antecedentes descritos, y en valoración de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se acentúa la importancia de la adición de fibras de acero como una tecnología propositiva para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del hormigón. Los incrementos de la resistencia a tracción son esencialmente proporcionales al volumen de fibras de acero añadida en las mezclas de hormigón.

Cabe recalcar que, si bien para un volumen de 1,0% de desechos de acero utilizados en la investigación, la propiedad de resistencia a compresión no se vio afectada; (Shewalul, 2021) indica que para un porcentaje de desechos de acero igual al 1,5 % la resistencia a la compresión se reduce un 5,3 %, por lo tanto, el análisis de dicha propiedad recomienda un análisis más detallado de su relación con la cantidad de material de desecho a utilizar, de manera que no se ponga en riesgo la calidad del hormigón.

Además, la utilización de fibras de acero en mezclas de hormigón genera una disminución de la trabajabilidad ya que, como es de conocimiento, la presencia de grandes cantidades de partículas finas en una mezcla requiere altas dosis de aditivo que permita controlar su flujo de asentamiento. Es por ello que una investigación y discusión adecuada sobre la incorporación de fibras de acero en el hormigón, en temas de dimensiones, tipos de fibras, dosificaciones y demás características necesarias, repercutiría de gran forma en el avance de la tecnología de los materiales de construcción permitiendo incorporar variedades de subproducto en diseños de mezclas.

Como ya se mencionó la adición de desechos de acero mejora las propiedades mecánicas del hormigón, de modo que su reciclaje como material de refuerzo ayuda a reducir la eliminación de residuos sólidos y la contaminación ambiental, garantizando mejoras en temas de economía, calidad y durabilidad para futuros procesos constructivos sustentables.

5. Conclusiones

- Se verificó que la añadidura de fibras de acero influye positivamente a la resistencia a tracción de manera proporcional al volumen de desechos empleados en la mezcla.
- Se constató, con base a los resultados obtenidos y la recopilación informativa de bases de datos científicas, que el aumento de la resistencia a tracción es muy variable al cambio del contenido de desecho de acero, la distribución dentro de mezcla, así como en la geometría de las fibras empleadas.
- Se corrobora que las fibras incorporadas en mezclas confinan el hormigón aumentando la resistencia al inicio y la propagación de las fisuras principales y de las micro fisuras internas de adherencia.
- Se evidenció que la propiedad de resistencia a compresión, para un volumen de mezcla de desechos de acero igual al 1,00%, no se vio reducida.

6. Recomendaciones

- Controlar la forma, longitud y distribución homogénea de las fibras de acero durante el mezclado.
- Se deberá tener presente la evaluación de la propiedad de resistencia de compresión del hormigón en muestras que contengan agregados de desechos de acero de tal manera que no se vea afectada esta capacidad.
- Se recomienda considerar el impacto de las fibras de acero en la trabajabilidad y consistencia del hormigón, adoptando medidas correctivas como ajustar la relación de agregados gruesos/finos, aumentar la pasta de cemento para mejorar la fluidez y, en obras de gran volumen, evaluar el uso de aditivos plastificantes.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. ACI 318. (2005). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05) (American Concrete Institute, Ed.).
2. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2008). Fibras de Hormigón - Definiciones, especificaciones y conformidad.
3. Behar Rivero, D. (2008). Introducción a la Metodología de la Investigación (A. Rubiera, Ed.; Editorial Shaloom).
4. Caballero, K. E. (2017). Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas. In PRISMA Tecnológico | (Vol. 8, Issue 1).
5. Efrén Espinosa-Espinosa, X., Morales-Jadan, D. X., Carlos, ;, Romo-Zamudio, E., & Romo-Zamudio, C. E. (2022). Modelo de economía circular aplicada a los residuos de encofrado en la construcción [Fundación KOINONIA]. <https://doi.org/10.35381/i.p.v4i1.2158>
6. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1991). Metodología de la

- investigación. McGraw-Hill.
7. Macanás Merola, T., & Loma Ramirez, J. M. (2014). Instrucción de Hormigón Estructural.
 8. Mármol Salazar, P. C. (2015). Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Escuela Técnica Superior de Ingeniero de caminos, canales y puertos. .
 9. McCorman, J. C., & Brown, R. H. (2014). Diseño de Concreto reforzado (S. A. Alfaomega Grupo Editor, Ed.; Octava).
 10. NEC - SE - HM. (2014). ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.
 11. NTE INEN 1855 - 1. (2015). Hormigones. Hormigón Premezclado. Requisitos.
 12. NTE INEN 1855 - 2. (2015). Hormigones. Hormigones en Obra. Requisitos.
 13. Romo Proaño, M. (2010). TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO.
 14. Rosario, M. M., & Danilo, C. (2019). Adición de fibras metálicas y de nylon en vigas de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para determinar la capacidad de disipación de energía. Universidad César Vallejo .
 15. Shewalul, Y. W. (2021, June 1). Experimental study of the effect of waste steel scrap as reinforcing material on the mechanical properties of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00490>
 16. SIKA. (2011). Concreto reforzado con fibras Sika Informaciones Técnicas Concreto reforzado con fibras Contenido.
 17. Jaime Luciano, R. C. (2018). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón reforzado con fibras de acero en la ciudad de Azogues, provincia del Cañar. Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues .
 18. Vara Horna, A. A. (2010). 7 PASOS PARA UNA TESIS EXITOSA: Desde la idea inicial hasta la sustentación.
 19. Vega, G. (2016). Revisión del empleo de fibras de acero en hormigones autocompactantes. In *Anales de Edificación* (Vol. 2, Issue 3). Universidad Politecnica de Madrid - University Library. <https://doi.org/10.20868/ade.2016.3471>



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>