UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Influencia de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

MATEO GONZALO CÓRDOVA ALVARADO

FABIÁN FERNANDO MONCAYO BERNAL

Director:

ING. BERNARDO ANDRÉS FEIJOO GUEVARA M.SC.

CUENCA-ECUADOR

2025

DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo brindado toda mi vida, por su amor, sacrificio y paciencia.

A mis abuelitos, por su sabiduría y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y perseverancia.

A mis tías, Moni y Juanita, por su apoyo constante y el cariño con el que han estado presentes en este camino.

A todos ustedes, con profundo amor y gratitud, les dedico este logro.

Fabián Fernando Moncayo Bernal

DEDICATORIA

A mis padres Gonzalo y Ximena por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, constancia y por el amor incondicional día a día.

A mi hermana Sofí por su cariño y compañía, a mis abuelos Miguel, Miriam, Gonzalo y Kathya por su sabiduría, enseñanzas y cariño brindado.

A mis tíos Johy, Chris, Tati, Santi, Carlos y Mayra, a mis primos, mis amigos más cercanos y a mi Monse.

Este logro es tanto mío como de ustedes.

Mateo Gonzalo Córdova Alvarado

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento al Ing. Bernardo Feijoo, director de este trabajo de titulación, por su dedicación, orientación y confianza depositada en nosotros desde el inicio del proyecto. Su acompañamiento fue clave para el desarrollo exitoso de esta investigación.

También extendemos nuestra gratitud a todos los docentes de la Universidad del Azuay, cuyas enseñanzas dejaron una huella importante en nuestra formación académica.

Agradecemos de corazón a los amigos que compartieron con nosotros esta etapa universitaria, por su apoyo constante, compañerismo y valiosa amistad.

Influencia de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón.

RESUMEN

Este trabajo de titulación evalúa el efecto de la adición de fibras de acero residuales, provenientes de desechos de talleres mecánicos, en las propiedades mecánicas del hormigón convencional. El estudio se enfoca en la necesidad de promover prácticas sostenibles en la construcción, reduciendo el impacto ambiental de los residuos industriales y mejorando la eficiencia estructural de los materiales. Se elaboraron y ensayaron 24 cilindros y 12 viguetas de hormigón con diferentes porcentajes de fibras (0% (sin fibras), 0,5%, 0,75% y 1,5%), evaluando su resistencia a la compresión, tracción indirecta (ensayo brasileño) y flexión a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados experimentales evidencian que la adición de fibras mejora significativamente las propiedades mecánicas del hormigón, especialmente la resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión, contribuyendo a una alternativa viable para la reutilización de residuos metálicos en el sector de la construcción.

Palabras clave: hormigón, cilindros, viguetas, fibras de acero residuales, compresión, tracción, flexión.

Influencia de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón.

ABSTRACT

This thesis evaluates the effect of adding residual steel fibers, sourced from waste generated by mechanical workshops, on the mechanical properties of conventional concrete. The study addresses the need to promote sustainable practices in construction by reducing the environmental impact of industrial waste and improving the structural efficiency of materials. A total of 24 concrete cylinders and 12 beams were prepared and tested with varying fiber contents (0% (without fibers), 0.5%, 0.75%, and 1.5%), assessing their compressive strength, indirect tensile strength (Brazilian test), and flexural strength at 7, 14, and 28 days of curing. The experimental results show that the addition of fibers significantly enhances the mechanical properties of concrete, particularly its compressive, tensile, and flexural strengths, supporting a viable alternative for the reuse of metallic waste in the construction sector.

Key words: concrete, cylinders, beams, residual steel fibers, compressive strength, tensile strength, flexural strength.

Índice de contenidos

Índice de contenidos vii

Índice de figuras ix

Índice de tablas xii

1. Capítulo 1: Introducción al proyecto 1

1.1 Problemática y justificación del proyecto 1

1.2 Materiales y Construcción Sostenible 2

1.3 Importancia del refuerzo con fibras en el hormigón 4

1.4 Objetivo general 5

1.5 Objetivos específicos 5

1.6 Alcance 6

2. Capítulo 2: Marco teórico 7

2.1 Marco conceptual 7

2.1.1 Hormigón 7

2.1.2 Cemento 9

2.1.3 Agua 11

2.1.4 Agregados 12

2.1.5 Fibras de acero 14

2.1.6 Propiedades que se analizarán 15

2.2 Estado del arte 18

3. Capítulo 3: Metodología 21

3.1 Enfoque del proyecto 21

3.2 Modalidad de investigación 21

3.3 Hipótesis del estudio 21

3.4 Población y muestra 21

3.5 Recolección de información 22

3.6 Procedimiento de la investigación 22
3.7 Obtención y tratamiento de los agregados 24
3.8 Obtención de los datos de las probetas 35
3.9 Dosificación de las fibras de acero residuales 38
3.10 Curva granulométrica 41
3.11 Tratamiento de las fibras de acero residuales 44
3.12 Realización de la mezcla 46
3.13 Curado de las muestras 53
3.14 Realización de ensayos 55
4. Capítulo 4: Análisis e interpretación de resultados 62
4.1 Dosificación de las muestras 62
4.2 Resultados de ensayos a compresión 65
4.3 Resultados de ensayos a tracción 69
4.4 Resultados de ensayos a flexión 73
4.5 Conclusiones y recomendaciones 77
Referencias 80

Índice de figuras

Figura 1-1: Fibras de acero residuales 4
Figura 2-1: Mezcla de hormigón armado 7
Figura 2-2: Estructura de hormigón armado 8
Figura 2-3: Apuntalamiento de una estructura 9
Figura 2-4: Cemento Portland 10
Figura 2-5: Agua en la mezcla del hormigón 11
Figura 2-6: Agregado fino 12
Figura 2-7: Agregado grueso 13
Figura 2-8: Fibras de acero comerciales 15
Figura 2-9: Cilindros de hormigón para el ensayo a compresión 16
Figura 2-10: Equipo de prueba de tracción indirecta 17
Figura 2-11: Equipo de prueba de flexión 17
Figura 3-1: Procedimiento de investigación 23
Figura 3-2: Tamización de los agregados 24
Figura 3-3: Lavado del agregado que pasa el tamiz #4 25
Figura 3-4: Separación de agregados según el tamiz 25
Figura 3-5: Compactación ensayo Cono de Abrams 26
Figura 3-6: Resultado ensayo Cono de Abrams 27
Figura 3-7: Peso del picnómetro con agua 28
Figura 3-8: Peso del picnómetro más agua y más material 29
Figura 3-9: Secado de los agregados en el horno 30
Figura 3-10: Agregado fino SSS 31
Figura 3-11: Peso SSS agregado fino 31
Figura 3-12: Peso SSS agregado grueso 32
Figura 3-13: Peso volumétrico suelto 33
Figura 3-14: Compactación de agregados 34
Figura 3-15: Pesaje de los agregados compactados 34
Figura 3-16: Obtención del peso del cilindro 35
Figura 3-17: Medición de las dimensiones del cilindro 36
Figura 3-18: Obtención del peso de la vigueta 37
Figura 3-19: Medición de las dimensiones de la vigueta 37
Figura 3-20: Curva granulométrica agregado fino 43

Figura 3-21: Curva granulométrica agregado grueso 44
Figura 3-22: Medición del peso de las fibras de acero residuales 45
Figura 3-23: División de las fibras de acero residuales 45
Figura 3-24: Corte de las fibras de acero residuales 46
Figura 3-25: Mezcladora 46
Figura 3-26: Colocación de aceite en cilindros 47
Figura 3-27: Colocación de aceite en viguetas 47
Figura 3-28: Medición de los pesos exactos para la mezcla 48
Figura 3-29: Materiales y agua vertidos en la mezcladora 49
Figura 3-30: Mezcla vertida para realización de probetas 49
Figura 3-31: Colocación de fibras de acero residuales en las probetas cilíndricas 50
Figura 3-32: Compactación de probetas cilíndricas mediante varilla 51
Figura 3-33: Colocación de fibras de acero residuales en viguetas 52
Figura 3-34: Compactación de viguetas mediante varilla 52
Figura 3-35: Compactación de viguetas mediante martillo de goma 53
Figura 3-36: Secado de probetas cilíndricas y viguetas 53
Figura 3-37: Desmolde de probetas cilíndricas 54
Figura 3-38: Preparación de la cámara de curado 54
Figura 3-39: Colocación de viguetas en la cámara de curado 55
Figura 3-40: Secado de las muestras previo a realización de ensayos 55
Figura 3-41: Peso de los cilindros antes del ensayo a compresión 56
Figura 3-42: Cilindro en la prensa hidráulica antes de romperlo 57
Figura 3-43: Peso de los cilindros antes del ensayo a tracción indirecta (brasileño) 58
Figura 3-44: Cilindro en la prensa hidráulica antes de romperlo por tracción 58
Figura 3-45: Peso de las viguetas antes del ensayo a flexión 59
Figura 3-46: Especificaciones de las viguetas según la norma 60
Figura 3-47: Trazos en las viguetas según la norma 60
Figura 3-48: Vigueta en la prensa hidráulica con las adaptaciones para flexión 61
Figura 4-1: Resistencias a la compresión a los 7 días 67
Figura 4-2: Resistencias a la compresión a los 14 días 67
Figura 4-3: Resistencias a la compresión a los 28 días 68
Figura 4-4: Evolución de la resistencia a la compresión a distintas edades y dosificaciones 68
Figura 4-5: Resistencias a la tracción a los 7 días 71

Figura 4-6: Resistencias a la tracción a los 14 días 71
Figura 4-7: Resistencias a la tracción a los 28 días 72
Figura 4-8: Evolución de la resistencia a la tracción a distintas edades y dosificaciones 72
Figura 4-9: Resistencias a la flexión a los 7 días..... 75
Figura 4-10: Resistencias a la flexión a los 14 días..... 75
Figura 4-11: Resistencias a la flexión a los 28 días..... 76
Figura 4-12: Evolución de la resistencia a la flexión a distintas edades y dosificaciones 76

Índice de tablas

Tabla 3-1: Preguntas de recolección de información 22
Tabla 3-2: Dimensiones de los cilindros 38
Tabla 3-3: Cantidades de acero para los cilindros 39
Tabla 3-4: Cantidades totales de acero (cilindros) 39
Tabla 3-5: Dimensiones de la vigueta 40
Tabla 3-6: Cantidades de acero para las viguetas 41
Tabla 3-7: Cantidades totales de acero (viguetas) 41
Tabla 3-8: Granulometría agregado fino 42
Tabla 3-9: Representación gráfica agregado fino 42
Tabla 3-10: Granulometría agregado grueso 43
Tabla 3-11: Representación gráfica agregado grueso 43
Tabla 4-1: Primera dosificación de cilindros sin fibras 62
Tabla 4-2: Segunda dosificación de cilindros con 0,5% de fibras 62
Tabla 4-3: Tercera dosificación de cilindros con 0,75% de fibras 63
Tabla 4-4: Cuarta dosificación de cilindros con 1,5% de fibras 63
Tabla 4-5: Primera dosificación de viguetas sin fibras 64
Tabla 4-6: Segunda dosificación de viguetas con 0,5% de fibras 64
Tabla 4-7: Tercera dosificación de viguetas con 0,75% de fibras 65
Tabla 4-8: Cuarta dosificación de viguetas con 1,5% de fibras 65
Tabla 4-9: Descripción de datos de las muestras cilíndricas para compresión 66
Tabla 4-10: Resultados de los ensayos a compresión 66
Tabla 4-11: Descripción de datos de las muestras cilíndricas para tracción 70
Tabla 4-12: Resultados de los ensayos a tracción 70
Tabla 4-13: Descripción de datos de las muestras de viguetas para flexión 74
Tabla 4-14: Resultados de los ensayos a flexión 74

1. Capítulo 1: Introducción al proyecto

1.1 Problemática y justificación del proyecto

Este proyecto se centra en abordar la creciente preocupación por la falta de implementación de nuevos métodos y materiales que faciliten el desarrollo de construcciones sostenibles (Hernández & Cruz, 2010).

De este modo, se quiere avanzar hacia un modelo de construcción que no solo sea más sostenible, sino también más responsable. Esto implica la integración de diversos aspectos como el económico, social y ambiental con el propósito de desarrollar soluciones prácticas y efectivas que permitan alcanzar un nivel superior de sostenibilidad en la construcción. A través de la implementación de estas soluciones, se espera fomentar un cambio en la industria donde la sostenibilidad sea vista como un pilar fundamental en todas las etapas del proceso constructivo.

Por lo tanto, la industria de la construcción tiene un rol muy importante en el ámbito económico en el país debido a la generación de fuentes de empleo que son fundamentales para el sustento de las familias ecuatorianas (Díaz-Kovalenko, Larrea-Rosas, & Barros-Naranjo, 2022). La inversión extranjera de igual manera tiene su aporte ya que permite el financiamiento, desarrollo de nueva infraestructura, utilización de nuevas y eficientes tecnologías en las edificaciones. Estas inversiones no solo mejorarían la productividad y calidad de las viviendas, sino también aportaría a una estabilidad económica a la gente relacionada con el medio y al país en general (Vásquez, Gonzabay, Vicuña, & Coello, 2024).

Se pretende crear conciencia en las personas e inclusive en grandes empresas constructoras que, si bien en el ámbito económico puede hacer una diferencia, también se tiene el lado social debido a que una construcción sostenible, con materiales y métodos responsables, puede mejorar la calidad de vida de las personas creando espacios más saludables, seguros, reduciendo el impacto ambiental, aumentando la eficiencia energética y contribuyendo a una economía circular (Hernández, 2008).

Según (Suárez *et al*, 2019), en el mundo, cada año se producen más de 6,5 mil millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) y estos, debido a la falta de conciencia y la inadecuada ubicación de espacios para el desecho adecuado de estos residuos ha llevado a que, utilicen las cuencas de los ríos como vertederos lo que lleva a

un gran daño ambiental. En Ecuador, el volumen que estos residuos alcanzan es tan alto que provoca una sobrecarga en las operaciones de transporte hacia los rellenos sanitarios y fomenta la proliferación descontrolada de puntos de vertido, lo que perjudica progresivamente el medio ambiente. Esto resulta en contaminación ambiental a nivel global y local, daños a los recursos naturales, deterioro del paisaje, desperdicio de materiales y agotamiento de recursos (Franco, Cusme, & Stay, 2023).

En este contexto, se propone la utilización de fibras de acero recicladas, provenientes de desechos, como una solución innovadora y eficaz. Se ha podido observar que el uso de estas fibras tiene grandes ventajas como el aumento de las propiedades mecánicas en términos de compresión, tensión y fisuración (Blanco, Pujadas, Fuente, & Aguado de Cea, 2010). A través de esta estrategia, no solo se busca ofrecer una respuesta viable a los desafíos actuales en el ámbito de la construcción, sino también promover un futuro más responsable, respetuoso y eficiente.

Finalmente, el propósito de este trabajo es aportar con información detallada, basada en pruebas de laboratorio utilizando cilindros y viguetas de hormigón reforzadas con fibras de acero recicladas. Además, lo que se quiere lograr con este trabajo experimental es una comparación de las propiedades y cómo podrían cambiar si se adicionan estas fibras. Se espera que los datos que obtendremos de este proyecto sean de utilidad para las personas involucradas en esta industria, además de que sirvan como una fuente de conocimiento para la toma de decisiones y para promover la sostenibilidad en este campo.

1.2 Materiales y Construcción Sostenible

Conforme va creciendo la población mundial, se genera una gran expansión urbana por lo que aumentan las construcciones y la demanda de recursos para poder llevar a cabo las mismas. Esto, a su vez, conlleva un problema ambiental debido al uso de recursos no renovables los cuales generan desechos con un alto costo ambiental por su tratamiento especial ya que su extracción, transporte y transformación requieren un gran consumo de energía y un impacto ambiental elevado (Hernández *et al*, 2021).

Como mencionan (Hernández *et al*, 2021), la construcción desempeña un papel fundamental en la economía de los países, pero a su vez genera una gran cantidad de residuos. Para poder mitigar los efectos ambientales que se producen se debe revisar los materiales utilizados, así como los métodos de extracción y producción de estos para así, poder adoptar prácticas que disminuyan el impacto ambiental. Bajo estas circunstancias,

surge la bioconstrucción que se presenta como una alternativa viable ya que promueve la construcción de espacios saludables utilizando recursos de bajo impacto ambiental lo cual podría ser una buena solución para este problema.

Sin embargo, según (Mendoza & Vanga, 2020), el porcentaje de constructores que han sido consultados en Ecuador sobre su conocimiento acerca de la implementación de medidas medioambientales es preocupante puesto que el 70% no tiene conocimiento alguno. Ellos consideran que esto se debe a los altos costos que conllevan, la falta de incentivos tributarios y el posible retraso en los procesos constructivos.

Por otro lado, uno de los objetivos que se proponen para lograr la sostenibilidad en la construcción es dar solución a problemas actuales tomando en cuenta las futuras generaciones. Esto es algo de vital importancia debido a que la mayoría de los problemas que se enfrentan en la actualidad en temas como la pobreza, el deterioro de ciudades, entre otros; son consecuencia de las decisiones tomadas en el pasado para resolver problemas sin considerar el futuro (Acosta, 2009).

La construcción en general, actualmente, busca ser eficiente en el buen manejo de recursos, minimizar residuos y proteger la naturaleza. Como menciona (Rocha, 2011), la elección de materiales es un gran problema ya que se ve influenciada por sus costos y estética sin tomar en cuenta la sostenibilidad en la mayoría de los casos. El impacto ambiental producido se debe a la selección, manejo y uso de estos materiales, por lo que se recomienda priorizar materiales con las siguientes características: locales, renovables, reciclables, reutilizables, duraderos y de fácil mantenimiento para reducir la huella ecológica producida por la construcción.

Es importante conocer acerca del manejo de los residuos generados en las construcciones ya que tiene un gran impacto ambiental, contaminando así el suelo, agua y demás ecosistemas. El porcentaje de la reutilización de residuos sólidos, de igual manera es preocupante ya que el 55% de los encuestados nunca lo ha hecho. Sin embargo, existe una visión positiva a futuro puesto que el 70% confía en las propiedades mecánicas de los materiales reciclados. Por todo lo mencionado, es necesario crear conciencia y fomentar prácticas sostenibles en la construcción (Mendoza & Vanga, 2020).

A su vez, la implementación de nuevos materiales en la construcción se enfoca en el área estructural, acabados, eficiencia energética y reducción de residuos a lo largo de la vida útil de la edificación. A su vez, estos materiales deben ser compatibles con los distintos procesos constructivos y ambientales. Para su implementación, es de gran importancia contar con las condiciones óptimas en el ámbito tecnológico, financiero y en una planificación sostenible siempre y cuando se cumplan con las normativas vigentes en el lugar donde se desarrollen (Hernández & Cruz, 2010).

1.3 Importancia del refuerzo con fibras en el hormigón

El hormigón es uno de los materiales más usados en la industria de la construcción debido a sus cualidades como la resistencia al agua, su maleabilidad, su costo, entre otros. A pesar de esto, su punto débil es la fragilidad, por lo que generalmente se refuerza con acero, dando lugar al hormigón armado. Es común que este refuerzo sea con barra/varillas de acero. Sin embargo, a lo largo de la historia, también se han utilizado fibras de otros materiales como fibras vegetales, animales, de acero, entre otros (Zerbino, 2020).

En relación con esto, el hormigón reforzado con fibras (HRF), varias décadas atrás, comenzó a utilizarse en losas, pisos industriales, muros de contención, elementos prefabricados, etc. (Zerbino, 2020) señala que varias ventajas han sido las que se han encontrado al usar HRF principalmente enfocados en un menor costo y en la reducción de espesores en espacios de menor calidad al sustituir las varillas de acero convencional. A su vez, esto puede menorar los diferentes mantenimientos, rendimientos y aumentar la vida útil optimizando así, el uso de recursos naturales. En la Figura 1-1 se observa las fibras de acero residuales o llamadas también “viruta” que es el material que se va a utilizar en este proyecto.

Figura 1-1: Fibras de acero residuales

Fuente: Dificonsa

Este tipo de hormigón ha demostrado ser apto para mejorar las propiedades del hormigón especialmente en estructuras probadas a impactos. En cuanto a las propiedades dinámicas, realizando pruebas en una universidad de Madrid, se ha concluido que las probetas reforzadas con fibras han presentado mejores respuestas dinámicas y una respuesta a la velocidad distinta si se compara con el hormigón convencional (Sanz & Zanuy, 2017).

De acuerdo con la información proporcionada por (Santillán, 2020), se ha llegado a la conclusión de que las fibras de acero tienen ciertas ventajas al ser utilizadas en el hormigón. Dentro de sus beneficios se destacan el control de fisuras, mejora la resistencia a la flexión y a la tracción. Además, aporta mayor ductilidad y disminuye la propagación de grietas. Se puede decir que las ventajas que proporcionan estas fibras son varias, esto dependerá del tipo de fibra y en qué cantidad se utilice en la mezcla.

Otro aspecto para tomar en cuenta, según (Campoy *et al*, 2021) es que, cuando se añaden fibras en cantidades pequeñas se espera una mejor respuesta en el control de la fisuración por contracción. A pesar de eso, se debe considerar que la trabajabilidad del concreto podría verse afectada; esto es algo importante ya que, en este estudio, las fibras lograron mantener unidas las vigas por más tiempo si se compara con las que no tenían fibras.

Finalmente, hablando de manera general, el uso de las fibras se recomienda para mejorar la resistencia a la flexión y al cizallamiento; se nota una mejoría evidente en el rendimiento con el uso de fibras con ganchos en los extremos. Sin embargo, existen otros factores que influencian en el desempeño como el tamaño de los agregados, la granulometría, la relación grava/arena, entre otros factores que pueden afectar negativamente sobre la influencia de las fibras sobre el concreto (Campoy *et al*, 2021).

1.4 Objetivo general

Evaluar y analizar el impacto de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón.

1.5 Objetivos específicos

- Comparar la resistencia a la compresión entre el hormigón convencional y el reforzado con fibras de acero residuales.
- Comparar la resistencia a la tracción entre el hormigón convencional y el reforzado con fibras de acero residuales.
- Comparar la resistencia a la flexión entre el hormigón convencional y el reforzado con fibras de acero residuales.

1.6 Alcance

El enfoque del presente proyecto de titulación se centra en el análisis de la influencia de fibras de acero residuales y su comparación con el hormigón convencional. Las fibras que se utilizarán son provenientes de desechos de talleres mecánicos como tornos, entre otros.

Las propiedades mecánicas que se van a analizar son: compresión, tracción y flexión cumpliendo con las normativas vigentes.

Estas propiedades podrán ser analizadas con la fabricación de 24 cilindros y 12 viguetas de hormigón con una resistencia de 210kg/cm2; estos serán probados a los 7, 14 y 28 días de edad en el laboratorio de la Universidad del Azuay. Todos los moldes utilizados cumplen con los requerimientos mínimos solicitados por el ACI tanto en los cilindros como en las viguetas.

Con todos los resultados obtenidos, se hará el respectivo análisis y las conclusiones necesarias.

2. Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Hormigón

Este estudio está enfocado en el tratamiento del hormigón al agregarle fibras de acero residuales a la mezcla, por lo que primero vamos a explicar que el hormigón es una mezcla compuesta por arena, grava, roca triturada u otros agregados, los cuales se unen mediante una pasta formada por cemento y agua, creando de esta manera una masa sólida. En algunos casos, se incorporan aditivos para mejorar ciertas propiedades como su ductilidad, durabilidad y su tiempo de fraguado. De la misma manera que otros materiales pétreos, el hormigón presenta una alta resistencia a la compresión, pero al mismo tiempo presenta una baja resistencia a la tensión. El hormigón armado consiste en una combinación de hormigón y acero, donde el refuerzo de acero le brinda la resistencia a la tensión que le hace falta al hormigón. Además, el acero agregado al hormigón le permite resistir fuerzas de compresión y este también se utiliza en elementos estructurales como columnas, vigas y demás elementos (McCormac & Brown, 2017). En la Figura 2-1 se observa el vertido de la mezcla de hormigón para su posterior uso.

Figura 2-1: Mezcla de hormigón armado

Fuente: Paviconj

- **Ventajas del hormigón armado**

El hormigón armado es el material más importante en la construcción debido a que puede ser utilizado en casi todas las estructuras sea de la dimensión que sea y posee ventajas al

momento de su uso tales como su resistencia a la compresión por unidad de costo comparando con los demás materiales.

El hormigón así mismo posee una gran resistencia al fuego y agua, siendo el mejor material para estructuras que se necesite el manejo del agua como canales, represas, etc. Con el fuego a intensidad media genera que los miembros sean afectados solo con daño superficial sin que esta llegue a fallar.

Una ventaja muy grande sobre los otros materiales es que estas requieren de poco mantenimiento ya que estas son estructuras muy rígidas y en comparación con otros materiales estas poseen una larga vida útil bajo las condiciones adecuadas, esto es debido a que la resistencia del concreto no disminuye con el tiempo, sino que al contrario esta aumenta con los años por su proceso de solidificación del cemento a través del tiempo.

Por último, el hormigón armado es el único material de costo económico que es capaz de ser utilizado para zapatas, losas, muros, pilares y construcciones similares requiriendo mano de obra de baja experiencia para su montaje en comparación a otros materiales. (McCormac & Brown, 2017). En la Figura 2-2 se observa las ventajas de construir con hormigón armado como sus grandes dimensiones y su poco mantenimiento.

Figura 2-2: Estructura de hormigón armado

Fuente: Hormiglass

- **Desventajas del hormigón armado**

El hormigón armado es un material muy utilizado por sus grandes ventajas a la hora de la construcción, pero así mismo se deben conocer sus desventajas para tener claros tanto sus

puntos fuertes como sus puntos débiles. Este material posee una resistencia baja a la tensión por lo que se necesita un material que lo mejore.

El hormigón es un material que hasta estar en estado seco se requiere de lo que se conoce como obras falsas o apuntalamiento las cuales ayudan para mantener en la posición requerida hasta que esta se encuentre en su estado de uso. Estas obras falsas alcanzan un alto costo económico por lo que esto hace que el valor del hormigón aumente.

La baja resistencia por unidad de peso del concreto da lugar a miembros estructurales pesados. Esto se vuelve especialmente relevante en estructuras de gran claro, donde el peso muerto del concreto tiene un impacto significativo en los momentos flexionados. Para reducir el peso del concreto, se pueden emplear agregados ligeros, aunque esto conlleva un aumento en el costo del material. De la misma manera la baja resistencia por unidad de volumen genera que los miembros sean de magnitudes grandes, por lo que es de gran consideración en estructuras grandes como edificios.

Según la variación de proporciones utilizadas en la mezcla, así como el curado si no es cuidadosamente tratado o controlado, genera variaciones y afectaciones en las propiedades de este (McCormac & Brown, 2017). En la Figura 2-3 se observa una de las desventajas de una estructura de hormigón armado como el uso de obras falsas o apuntalamiento para mantener la estructura hasta su secado.

Figura 2-3: Apuntalamiento de una estructura

Fuente: Alsina.com

2.1.2 Cemento

El cemento es un polvo de contextura fina compuesto principalmente por silicatos de calcio y de aluminatos de calcio en menores cantidades. El mismo en el momento de que

se realiza la mezcla con agua, forma una pasta que reacciona, fragua y se endurece a temperatura ambiente, sin importar si este tiene contacto con el aire o se encuentra bajo el agua (Cerecer & Elias, 2022). En la Figura 2-4 se tiene el cemento Portland, utilizado para la realización de la mezcla del hormigón.

Figura 2-4: Cemento Portland

Fuente: Rubi

Su uso en la construcción data de hace 5000 años o más por el pueblo egipcio en fabricación de piedras decorativas o en revestimiento de paredes. En una búsqueda de una mejora en la resistencia física, se encontró dos compuestos que lograban este objetivo: la cal y las arcillas puzolánicas. La cal requería de una temperatura de 900° para su reacción química mientras que las arcillas podían hacerlo a menor temperatura. De esta manera las arcillas de mejor calidad fueron encontradas por los romanos hace 2000 años en una zona de actividad volcánica intensa en Puzzuoli, De esta manera proviene el nombre de puzolanas. Por último, un albañil ingles llamado Joseph Aspidin realizó un estudio en un horno probando diferentes mezclas a distintas temperaturas hasta que encontró la que actualmente la seguimos conociendo como Cemento Portland, el cual viene dado por la semejanza con algunas canteras de piedra en Portland, Inglaterra (Universidad de Sonora, 2021).

El cemento posee propiedades como la adhesión y la cohesión la cual es fundamental para la mezcla con los agregados inertes conformando de esta manera una masa sólida (Nilson, 2001) el mismo debe estar totalmente seco, para asegurar aquello se lo debe almacenar en un sitio cubierto, seco y con ventilación propia (Romo, 2008).

Según la función que queramos que realice el cemento, según la aplicación, las condiciones de obra y a que va a estar expuesto se realiza la elección del tipo de cemento a utilizar. Dentro de estos tipos tenemos los comunes los cuales son: CEM I (cemento Portland), CEM II (cemento Portland con escorias, humo de sílice, puzolana, ceniza volante, etc.), CEM III (cementos con escorias de alto horno), CEM IV (cementos puzolánicos) y CEM V (cementos compuestos). Los comunes de bajo calor de hidratación son: CEM I a VLH. Los comunes resistentes a los sulfatos son: CEM I a V/SR. Los comunes resistentes al agua de mar son: CEM I a V/MR. Los especiales de muy bajo contenido de hidratación son: VLH III (cemento de escorias de horno alto), VLH IV (cemento puzolánico) y VLH V (cemento compuesto)

El comportamiento de los cementos se puede ver influenciado por las condiciones de aplicación de los diferentes productos que contienen. Entre los factores más determinantes se encuentran el clima, es decir la temperatura, humedad y viento, los métodos de ejecución del hormigón los cuales son su colocación, proyección, prefabricado y las clases de exposición ambiental. Estas condiciones impactan significativamente en el proceso de curado, lo que a su vez afecta el endurecimiento y la durabilidad del hormigón (Fundación musaat, s.f.).

2.1.3 Agua

El agua usada en la mezcla del hormigón debe ser potable, esta no puede ser agua de mar debido a que su salinidad afecta al acero (Romo, 2008). En la Figura 2-5 se puede observarla manera en la que se agrega la cantidad optima de agua en la mezcladora de hormigón.

Figura 2-5: Agua en la mezcla del hormigón

Fuente: Ingenieriaymas

2.1.4 Agregados

Los agregados están en el 70 y 75 por ciento del volumen de la mezcla (Nilson, 2001), es por esta razón que el agregado posea una buena resistencia a la intemperie, durabilidad y que no se produzca una reacción química desfavorable con el cemento (McCormac & Brown, 2017). Estos proporcionan un relleno económico, aparte de brindar resistencia frente a la aplicación de cargas, abrasión, filtración de humedad y condiciones climáticas. Según el tamaño de las partículas, los agregados se dividen en dos categorías, las cuales son agregados gruesos, que tienen un tamaño superior a 5 mm, y agregados finos, cuyo tamaño varía entre 0.07 mm y 5 mm (Romo, 2008).

- **Agregado fino**

El agregado fino o también denominado arena, resulta de la desintegración natural o trituración de la roca. Es decir, es aquel agregado que pasa por el tamiz No. ¾ y casi totalmente por el No. 4, pero es retenido mayormente por el No. 200 (Quintanilla & Rea, 2015). En la Figura 2-6 se observa el agregado fino listo para su transporte y distribución a través de camiones.

Figura 2-6: Agregado fino

Fuente: Brickafixx

- **Agregado grueso**

El agregado grueso o grava es aquel agregado el cual proviene de la trituración de roca o grava o una mezcla de ambas, estos fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables debido a que si no se encuentran de esa manera puede afectar de manera negativa a la calidad de la mezcla del hormigón. Este agregado es el retenido mayormente por el tamiz No. 4 (Gonzalez & Roncancio, 2015). En la Figura 2-7 se tiene el agregado grueso o grava a utilizar en la mezcla del hormigón.

Figura 2-7: Agregado grueso

Fuente: Market Research Intellect

- **Granulometría**

La granulometría se emplea para identificar y clasificar el tamaño de las partículas de una masa de agregados. Este proceso se lleva a cabo mediante un análisis granulométrico, el cual consiste en separar una muestra de material en fracciones con partículas de tamaño uniforme. La cantidad de cada fracción obtenida en el análisis se conoce como granulometría y se clasifica de la siguiente manera:

- Bien gradada: Se denomina como bien gradada cuando el agregado presenta una distribución uniforme de sus partículas de mayor a menor.

- Mal gradada: Se denomina como mal gradada cuando presenta una discontinuidad del porcentaje de agregados en cada tamiz.

- Uniforme: Se denomina uniforme cuando las partículas del agregado presentan el mismo tamaño.

- Abierta o Discontinua: Se denomina como abierta o discontinua cuando en ciertos tamices no se ha retenido materia (Quintanilla & Rea, 2015).

- **Análisis granulométrico**

Este procedimiento consiste en dividir una masa de agregado en fracciones de tamaño uniforme, pasando el material a través de una serie de tamices con aberturas cuadradas, los cuales se colocan uno sobre otro, organizados de mayor a menor abertura de arriba hacia abajo. Este análisis debe llevarse a cabo de acuerdo con lo establecido en la norma

ASTM C-136. En el caso de los agregados finos, conforme a la norma NTE INEN – 872 (ASTM C 33), el cual nos aportará con un porcentaje de vacíos óptimo para la mezcla compatible a la resistencia del hormigón fraguado y con la consistencia y trabajabilidad del hormigón fresco. Los agregados gruesos pasan por el mismo procedimiento, pero a través de diferentes tamices y con distintas clasificaciones. (Quintanilla & Rea, 2015)

- **Curva granulométrica**

Con el objetivo de obtener una mejor interpretación de los resultados del análisis granulométrico, se elabora la curva granulométrica o curva de cribado. Esta curva se obtiene graficando en el eje vertical el porcentaje de material que pasa, en escala aritmética, y en el eje horizontal la abertura de cada tamiz, en escala logarítmica. La principal ventaja de la curva granulométrica, además de permitir conocer la distribución de los áridos, es que facilita la identificación de posibles excesos de fracciones gruesas o finas, así como la presencia de discontinuidades en la distribución del tamaño de las partículas (Quintanilla & Rea, 2015).

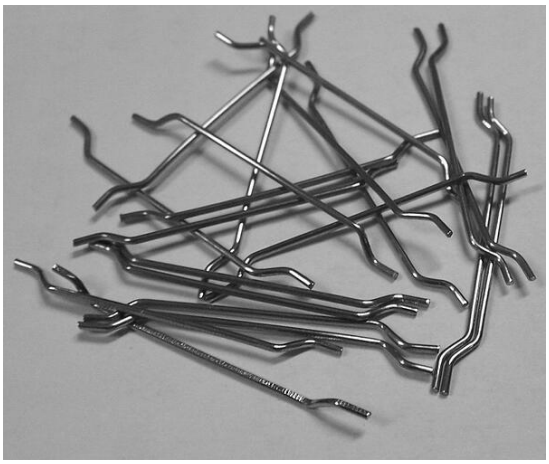
2.1.5 Fibras de acero

Las fibras de acero se producen a partir de alambre trefilado de acero con bajo contenido de carbono y se distingue por su alto límite elástico. Estas fibras son de una longitud corta y una sección pequeña, que se dispersan en la mezcla de hormigón en estado fresco (Pozo, 2015). Estas pueden ser de acero al carbono o de acero inoxidable, pero además de estas se pueden encontrar fibras con revestimientos de zinc o galvanizadas que en cuanto a lo económico resultan más accesibles que las fibras de acero inoxidable y a parte presentan mayor resistencia a la corrosión. (Mármol, 2010). El propósito de utilizar fibras en el hormigón es el de obtener ventajas adicionales que mejoren las propiedades y faciliten su manejo. Esto puede resultar en una disminución de la mano de obra, un aumento en la durabilidad de las estructuras y una posible reducción o eliminación del refuerzo convencional (Farfán *et al*, 2018).

Las fibras son aplicadas en temas estructurales de manera en la que se busca beneficios adicionales en temas de reducción de mano de obra, incrementar la durabilidad de la estructura y la reducción o eliminación de ser posible del refuerzo tradicional (Mármol, 2010). Es por esta razón que podemos encontrar o realizar diferentes aplicaciones en donde las fibras de acero aporten la mejora de las propiedades del hormigón como en los pavimentos en donde se requieren ciertas características como la trabajabilidad, la

resistencia al flexo tracción o la retracción, al conseguir eso se las usa en pavimentos industriales, de aeropuertos y de tipo especial (Pozo, 2015). También se da uso en temas como la minería, en donde fisuras de gran tamaño pueden llegar a ser toleradas (Mármol, 2010). En cualquier tipo de losa reforzada, suelos industriales y otras soleras con alta capacidad de carga que estén expuestas a cargas extremas. (Holcim, 2016). En túneles de carreteras, túneles hidráulicos, en tableros de puentes y en la estabilización de taludes (Mittal, 2009). En la Figura 2-8 tenemos las fibras de acero comerciales que son las normalmente usadas en el hormigón armado con fibras de acero.

Figura 2-8: Fibras de acero comerciales



Fuente: Láminas y aceros

2.1.6 Propiedades que se analizarán

- **Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más características e importantes del hormigón; una de sus mayores fortalezas y es eso que lo diferencia de muchos otros materiales. Para su determinación, se utilizan cilindros de diferentes medidas que se colocan en una prensa hidráulica y se rompen, en nuestro caso en particular, utilizamos cilindros de 15cm de diámetro, 30cm de altura y de 210kg/cm2. Además, se evaluará su resistencia a los 7, 14 y 28 días después de la mezcla para poder realizar un análisis (Paricaguán, 2019). En la Figura 2-9 observamos los cilindros que son utilizados para realizar los ensayos a compresión.

Figura 2-9: Cilindros de hormigón para el ensayo a compresión

Fuente: (Paricaguán, 2019).

- **Resistencia a la tracción**

La resistencia a la tracción en el hormigón también es una propiedad importante; aunque no sea una de sus mayores cualidades cuando trabaja a tracción, se quiso solucionar este problema con la adición de fibras de acero residuales. Al igual que en la tracción, también se lo puede determinar de una manera similar. Se utilizan cilindros con las mismas características, es decir 15cm de diámetro, 30cm de altura y una resistencia de 210kg/cm2; las edades son 7, 14 y 28 días de igual manera. La prensa que se utilizó en el ensayo a compresión es la misma; lo único que cambia es la posición del cilindro ya que este ensayo es a tracción indirecta, entonces el cilindro se coloca de manera horizontal (Paricaguán, 2019). En la Figura 2-10 tenemos la máquina utilizada para la tracción indirecta aplicada a un cilindro.

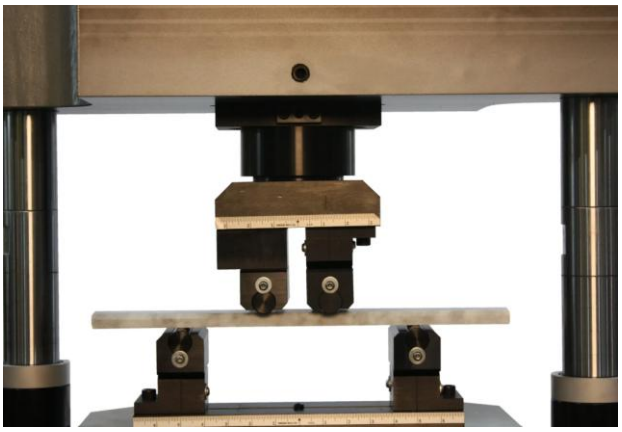
Figura 2-10: Equipo de prueba de tracción indirecta

Fuente: Normatetalest.

- **Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión es otra propiedad que consideramos en este trabajo de titulación, en este caso se utiliza una máquina en la cual se colocan vigas cuya resistencia es de 210kg/cm2; sobre estas se aplican cargas a un tercio del claro a cada lado. Al igual que en los otros ensayos, las edades a las que se analizará este ensayo son a los 7, 14 y 28 días. En la Figura 2-11 observamos el equipo a utilizar en la prueba de flexión, en donde son ubicadas las viguetas.

Figura 2-11: Equipo de prueba de flexión



Fuente: DonConcreto.

2.2 Estado del arte

En el artículo de (Cobos & Valle, 2021), denominado "Estudio comparativo sobre el comportamiento mecánico del concreto con fibra de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibra de acero", encontramos que las edades de ruptura de los concretos son a los 7, 14 y 28 días, agregan un porcentaje de volumen de fibras de acero de 0.5% y 1%. Los moldes utilizados para los ensayos son de 100 mm x 200 mm de dimensión, también se realiza un asentamiento de 2 cm en los cilindros de 0.5% de fibras y de 1.5 cm en los cilindros de 1% de fibras. Tras desencofrar después de las 24 horas transportan los hormigones a una cámara de curado que se encuentra a una temperatura de 20°C. Los cilindros fueron diseñados para una resistencia de 210 kg/cm2.

En el artículo de (Huamán *et al*, 2022), denominado "Comparación de propiedades físicas y mecánicas del hormigón tradicional y el hormigón con fibras metálicas recicladas", tenemos que las edades de ruptura utilizados son a los 7, 14 y 28 días, se agrega un porcentaje de volumen de fibras de acero de 0.6% y 1.5%. Se realizó 36 probetas de 100 mm x 200 mm, diseñadas a 210 kg/cm2.

Según (Rojales *et al*, 2021) en su artículo denominado "Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria" las edades de ruptura de las probetas son a los 7 y 32 días, agregando un porcentaje de volumen de fibras de acero de 0.5%, 1% y 1,5%.

En el artículo denominado "Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado" de (Moya & Cando, 2018), obtenemos que las edades de ruptura utilizadas son de 7, 14 y 28 días. En las probetas se agregan fibras de acero recicladas obtenidos de tornos, en donde el desgaste de estas y el tipo de acero varía según el uso que le dé el tornero.

En el trabajo de titulación de (Coronel & Risco, 2023), denominado "Adición de fibras de acero en la resistencia del concreto utilizado en la construcción de viviendas en la ciudad de Jaén, 2022", encontramos que las edades de ruptura de las probetas son a los 7, 14 y 28 días, agregando un volumen de fibras de acero a las probetas del 1.5% en un diseño de 210 kg/cm2. Las dimensiones de las probetas utilizadas para el diseño son de 15cm x 30cm. Los agregados fino y grueso fueron obtenidos de la cantera Santa Rosa –

Yanuyacu – Jaén pasados por los tamices del 4" al #100 para su granulometría.

En el artículo publicado por (Gallo *et al*, 2013), denominado "Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometido a esfuerzos de compresión" encontramos que las edades de ruptura usados son a los 7, 14 y 28 días usando un total de 48 probetas para las mismas en donde se agregan un volumen de fibras de acero de 0.25%, 0.5% y 1%. Las dimensiones de las probetas utilizadas son de 150mm de diámetro y 300mm de altura. El tipo de fibra que utilizan es una fibra con ganchos, de 30mm de longitud, un diámetro de 0.62mm y una relación de aspecto de 48. Diseñado para una resistencia de 250 kg/cm2.

Según (Farfán *et al*, 2018) en su artículo "Fibras de acero en la resistencia a la compresión del concreto", las edades de ruptura de los cilindros son solamente a los 14 días. Las dimensiones de las probetas utilizadas son de 150mm de diámetro y 300mm de altura. El cemento utilizado es cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo, los agregados fino y grueso fueron obtenidos de una distribuidora local, las cuales pasan por los tamices 4" al #200 para la realización de su granulometría y las fibras de acero comercial trefilado fueron obtenidos de la marca Sika® Fiber tipo CHO 65/35 NB, la razón del uso de este tipo de fibras según los autores es de otorgar una alta capacidad de soporte y una resistencia al impacto, fatiga y fisuración. Para la elaboración de la mezcla los materiales fueron mezclados alrededor de 90 y 120 segundos para obtener una mezcla homogénea. El diseño fue elaborado para una resistencia de 210 kg/cm2.

En el trabajo de titulación realizado por (Silva, 2014), denominado "Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua", el cemento utilizado en el proyecto fue el cemento Holcim y los agregados fino y grueso fueron obtenidos de la planta de trituración de áridos A & P Constructores, pasados por los tamices del 3/8" al #200 para su granulometría. El porcentaje de fibras de acero utilizadas en el proyecto fue de 0.25%, 0.5%, 1% y 1.5% del volumen.

En el trabajo de titulación de (Rojas, 2018), denominado "Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón reforzado con fibras de acero en la ciudad de Azogues, provincia de Cañar", las probetas utilizadas para el proyecto fueron de las siguientes dimensiones, cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura y cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura aparte de viguetas de 15x15x53 cm. La edad de

ruptura para estas probetas fue a los 28 días de su elaboración. Los agregados fino y grueso fueron obtenidos de la mina Santa Isabel y fueron pasados por los tamices del 1/2" al #100 para su análisis granulométrico. Las fibras de acero seleccionadas para este proyecto fueron las DRAMIX RC-65/60-BN de unas dimensiones de 60mm de longitud y un diámetro de 0.90mm. Agregando una cantidad de fibras de un 0.25% y 1.5% del volumen de la probeta.

En el artículo de (Blanco, *et al*, 2010), denominado "Análisis comparativo de los modelos constitutivos del hormigón reforzado con fibras", nos encontramos que el volumen de fibras de acero que se agregan es de 0.25% y 0.75%.

Por otro lado (Sarango & Toapanta, 2022) en su trabajo de titulación denominado "Efecto de las fibras de acero en resistencia a compresión, flexión y módulo de elasticidad en hormigones simples de 21 MPA", obtenemos que las fibras que se utiliza son las fibras de acero Dramix 3D y el cemento usado fue un Portland tipo I Holcim Gu. Los agregados fino y grueso fueron obtenidos de la cantera Holcim Pifo y fueron pasados por los tamices del 3/8" al #100 para su análisis granulométrico. Las edades de ruptura fueron a los 7, 14 y 28 días, agregando un volumen de fibras de acero de 0.09%, 0.23%, 0.47% y 0.7%.

3. Capítulo 3: Metodología

3.1 Enfoque del proyecto

Este proyecto tiene un enfoque cualitativo y un enfoque cuantitativo, esto debido a que cuenta con un análisis e interpretación de datos e información los cuales se obtienen a través de la realización de ensayos de hormigones con cantidades de porcentaje de fibras de acero distintas, obteniendo su influencia en las propiedades mecánicas de las mismas, esto a través de la realización de las pruebas necesarias para la clasificación de los agregados fino y grueso mediante el análisis granulométrico obteniendo así un buen diseño de la mezcla.

3.2 Modalidad de investigación

El proyecto cuenta con una modalidad de investigación de campo, debido a que para la obtención de los distintos materiales como los agregados y el cemento se acudió a una ferretería importante de la ciudad de Cuenca para su compra, así como la búsqueda de fibras de acero residuales en los diferentes tornos de la ciudad para su adquisición, debido a que estas son desechadas y pueden causar contaminación ambiental. También este proyecto cuenta con una modalidad de investigación de laboratorio y experimental, esto porque en el laboratorio de suelos de la Universidad del Azuay se realiza los distintos ensayos con los agregados para obtener sus propiedades y de la misma manera se realizan ensayos de 24 cilindros de dimensiones de 15x30 y 12 viguetas de dimensiones de 15x15x45 donde se incluyen porcentajes de fibras de acero residuales de 0%, 0.5%,0.75% y 1.5% del volumen de la probeta y el curado se lo realiza para 7, 14 y 28 días, sometiendo a las muestras a tracción, compresión y flexión. Por último, esta será una investigación bibliográfica, ya que se necesita realizar diferentes investigaciones y aplicaciones de investigaciones para las especificaciones de las muestras, la comparación y el análisis de los resultados obtenidos.

3.3 Hipótesis del estudio

Agregar fibras de acero residuales en distintos porcentajes de volumen para realizar la mezcla de hormigón mejora las propiedades mecánicas de la misma.

3.4 Población y muestra

En este estudio se tuvo como población las distintas distribuidoras de áridos de la ciudad de Cuenca, así como los diferentes tornos de la ciudad los cuales trabajan a diario con

acero, los cuales al realizar sus trabajos desechan las llamadas virutas de acero las cuales nos han servido para nuestro estudio.

3.5 Recolección de información

La Tabla 3-1 indica mediante diferentes preguntas básicas de investigación como se obtuvo la información para el análisis de la influencia de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón.

Tabla 3-1: Preguntas de recolección de información

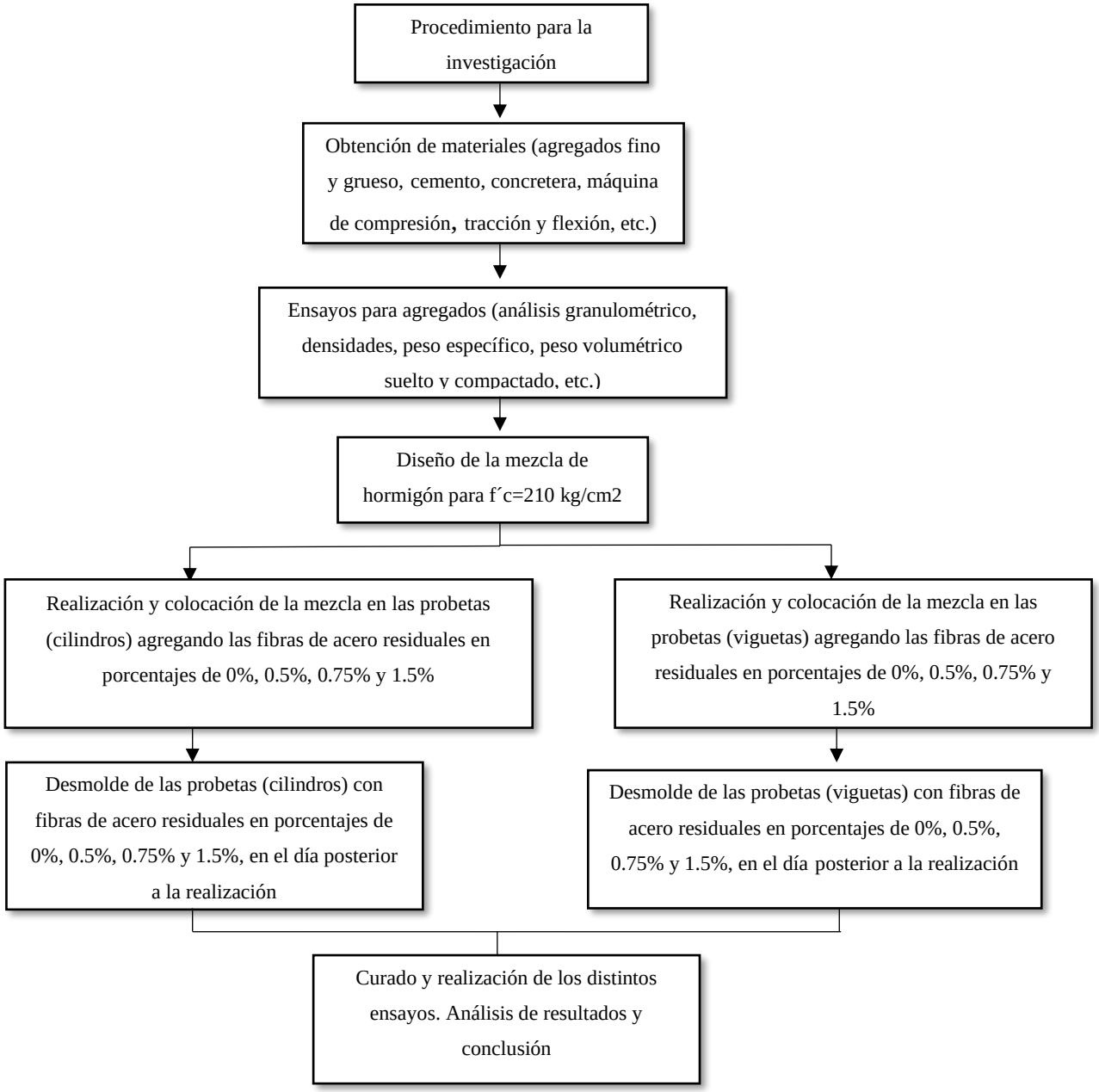
Preguntas básicas de investigación	**Explicación**
¿Para qué objetivo?	Analizar la influencia de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón.
¿Quién?	Fabián Moncayo y Mateo Córdova
¿Dónde?	Laboratorio de suelos y materiales de la facultad de CCTT de la Universidad del Azuay.
¿Cómo?	Pruebas de laboratorio e investigación bibliográfica.
¿De qué se obtiene?	Agregados fino y grueso y el cemento de una ferretería importante de la ciudad llamada “Frank ferretería” y las fibras de acero residuales de los diferentes tornos de la ciudad de Cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Procedimiento de la investigación

En la Figura 3-1 se observa el procedimiento el cual fue utilizado para la obtención de la información sobre la influencia de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón.

Figura 3-1: Procedimiento de investigación



Fuente: Elaboración propia.

3.7 Obtención y tratamiento de los agregados

Los agregados fino y grueso fueron obtenidos en ferretería Frank la cual está ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Los mismos fueron transportados de manera propia hasta las instalaciones de la Universidad del Azuay en la facultad de Ciencia y tecnología en el laboratorio de suelos y materiales. Tras esto se toma una muestra del agregado grueso (grava) y el agregado fino (arena) para ser sometido a un análisis granulométrico, el cual depende del tamaño del agregado, pero se lo suele realizar de al menos 5 kg para agregado grueso y 1 kg para agregado fino y si la muestra contiene humedad, se la deberá ingresar en un horno a 105 °C durante 24 horas para de esta manera evitar que el agua afecte en el peso de la muestra tomada, tras las 24 horas se deberá enfriar la muestra a temperatura ambiente.

Luego de tener la muestra seca, se procede a seleccionar los tamices con los distintos tamaños de malla, los cuales deben estar limpios y secos antes de realizar la tamización en la máquina de tamizado en unos 5-10 minutos para que se separe y clasifique adecuadamente como se indica en la Figura 3-2. Los tamices seleccionados fueron para los agregados gruesos los tamices 1´´, 3/4´´, 1/2´´, 3/8´´ y #4, en cambio para los agregados finos fueron los tamices 3/8´´ y #4 para la primera parte.

Figura 3-2: Tamización de los agregados

Fuente: Elaboración propia

Tras ello se procede a pesar la cantidad de agregado que quedó en cada tamiz anotando los diferentes valores, incluyendo el peso del agregado que pasa por el tamiz #4. El agregado que pasa el tamiz #4 se procede a lavarlo como se indica en la Figura 3-3, quitando la tierra que puede poseer y se procede a meterle nuevamente al horno por 24 horas para su nueva tamización. Para este nuevo proceso primero se procede a pesar para obtener el peso después de lavar y se lo pasa por los tamices #8, #16, #30, #50, #100 y #200. Dividiendo lo obtenido en cada tamiz para su posterior pesaje como se indica en la Figura 3-4.

Figura 3-3: Lavado del agregado que pasa el tamiz #4

Fuente: Elaboración propia

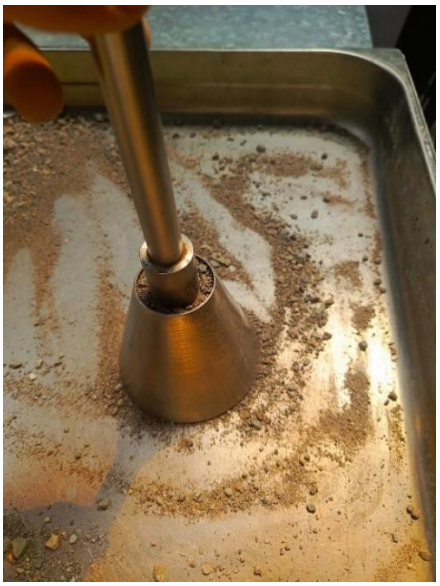
Figura 3-4: Separación de agregados según el tamiz

Fuente: Elaboración propia

También se realizó el ensayo denominado “Cono de Abrams”, el cual es un ensayo el cual permite medir la consistencia del hormigón o en este caso de los agregados sin la necesidad de equipos o personal costoso, ofreciendo resultados confiables ya que, a menor asentamiento, mayor será el esfuerzo que deben realizar operarios y maquinaria.

Para la realización de este ensayo se coloca el cono sobre una superficie plana, lisa y horizontal, la cual no sea absorbente. Se vierte el material en tres capas distintas de volumen similar, las cuales se compactarán cada capa con 25 golpes de la varilla como se puede ver en la Figura 3-5. La capa final se la alisa de manera que la superficie del cono quede nivelada. Finalmente se retira el molde del cono obteniendo así el resultado de la prueba como se puede observar en la Figura 3-6 (Escuela industrial superior, 2014).

Figura 3-5: Compactación ensayo Cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-6: Resultado ensayo Cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia

Procedemos a calcular el peso específico, para ello obtenemos primero el peso del picnómetro más agua. Primero se revisa que el picnómetro esté limpio y seco y se procede a pesar el mismo, luego se procede a llenarlo de agua para realizar su pesaje como se indica en la Figura 3-7 y de esa manera con la siguiente formula se obtiene el peso del picnómetro más agua:

Ecuación 3-1

$$P.Pic + Agua = P.Agua - P.Vacio$$

P.Pic + Agua = Peso del picnómetro más agua

P.Agua = Peso del picnómetro con agua

P.Vacio = Peso del picnómetro sin agua

Figura 3-7: Peso del picnómetro con agua

Fuente: Elaboración propia

Tras esto procedemos a obtener el valor del peso del picnómetro más agua y más material, para ello debemos nuevamente preparar el picnómetro, limpiándolo y secándolo para su posterior uso, tras ello pesamos el picnómetro vacío y lo registramos. Procedemos a llenar con agua a una temperatura específica, vertiendo en ella el material o los agregados, lo pesamos y registramos este valor como se indica en la Figura 3-8. Si el agregado tiene una alta absorción de agua se lo satura previamente con agua para evitar errores, tras verter el material se procede a moverlo para que los vacíos del picnómetro salgan.

Figura 3-8: Peso del picnómetro más agua y más material

Fuente: Elaboración propia

Continuamos realizando la obtención del peso seco y del peso superficialmente saturado o (Peso SSS), para ello se toma una muestra representativa de agregado fino y también del grueso y se procede a meterlo en el horno a 105 °C y dejarlo durante 24 horas. Al día siguiente se procede a sacarlo y pesarlo como se indica en la Figura 3-9, para de esta forma obtener el peso seco del agregado más molde, de ahí se usa la siguiente fórmula para obtener el peso seco.

Ecuación 3-2

$$Peso\ seco = (PS + molde) - (P\ molde)$$

PSeco = Peso seco

PS + molde = Peso seco más molde

P molde = Peso del molde

Figura 3-9: Secado de los agregados en el horno

Fuente: Elaboración propia

Procedemos a saturar los agregados colocándolos en un recipiente con agua y después de la saturación se escurre el agua del recipiente haciendo que el exceso de agua en la superficie de los agregados se elimine como se muestra en la Figura 3-10, pero que el agua dentro de los poros del material se mantenga. Esto asegura que solo el agua superficial se elimine.

Figura 3-10: Agregado fino SSS

Fuente: Elaboración propia

Procedemos a pesar en una balanza los agregados y obtenemos el peso SSS de los agregados fino y grueso como se observa en la

Figura 3-11: Peso SSS agregado fino

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-12: Peso SSS agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en el tratamiento de los agregados previo al diseño de la mezcla se procede a calcular el peso volumétrico suelto y el peso volumétrico compactado.

Empezamos calculando el peso volumétrico suelto, para ello se procede primeramente a preparar los agregados viendo que estos estén totalmente secos y limpios, procedemos a tomar una probeta o una bandeja de volumen conocido y colocar los agregados sin compactarlos y golpearlos dejándolos caer de forma libre y suelta, pero al final nivelando los agregados con una regla o una varilla. Se procede a pesar el recipiente con los agregados como se observa en la Figura 3-13 y obtenemos el peso volumétrico suelto a través de la siguiente fórmula:

Ecuación 3-3

$$Peso\ Volumetrico\ suelto = \frac{Pagregados - Pprobeta}{Vprobeta}$$

Pagregados = Peso de la probeta con los agregados

Pprobeta = Peso de la probeta vacía

Vprobeta = Volumen de la probeta

Figura 3-13: Peso volumétrico suelto

Fuente: Elaboración propia

Por último, debemos obtener el peso volumétrico compactado, para lo cual de la misma manera debemos preparar los agregados, observando que estén secos y limpios, se toma la misma probeta en la cual se realizó el peso volumétrico suelto y se vierte los agregados de forma en la que se divida en tres partes, compactando cada parte mediante una varilla realizando 25 golpes por cada capa como se puede observar en la Figura 3-14, asegurando así que los agregados se compacten de manera uniforme. Al final se nivela la superficie asegurando que el volumen se mantenga igual y se procede a pesarlo como se observa en la Figura 3-15. El peso volumétrico compactado se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 3-4

$$Peso\ Volumetrico\ compactado = \frac{Pagregadoscomp - Pprobeta}{Vprobeta}$$

Pagregadoscomp = Peso de la probeta con los agregados compactados

Pprobeta = Peso de la probeta vacía

Vprobeta = Volumen de la probeta

Figura 3-14: Compactación de agregados

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-15: Pesaje de los agregados compactados

Fuente: Elaboración propia

3.8 Obtención de los datos de las probetas

- **Cilindro**

Para obtener los datos del cilindro, primero se obtiene su peso, poniendo el mismo en la balanza como se indica en la Figura 3-16.

Figura 3-16: Obtención del peso del cilindro

Fuente: Elaboración propia

Tras esto se procede a obtener las dimensiones del cilindro con la ayuda de un calibrador Vernier como se puede observar en la Figura 3-17. se procede a medir el diámetro del cilindro, midiéndolo cinco veces, descartando el valor mayor y menor, para tras ello obtener un promedio con los tres restantes y encontrar el diámetro. También se debe medir la altura del cilindro, un dato que es de vital importancia para realizar las distintas pruebas.

Figura 3-17: Medición de las dimensiones del cilindro

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos procedemos a calcular el valor del área del cilindro, para el cual se usa la siguiente fórmula:

Ecuación 3-5

$$A = \frac{D^2 * \pi}{4}$$

A = Área del cilindro

D = Diámetro del cilindro

Por último, obtenemos el valor del volumen del cilindro, para el cual se necesita el valor obtenido del área y de la altura del cilindro, calculándolo mediante la siguiente formula:

Ecuación 3-6

$$V = A * h$$

V = Volumen del cilindro

A = Área del cilindro

h = Altura del cilindro

- **Vigueta**

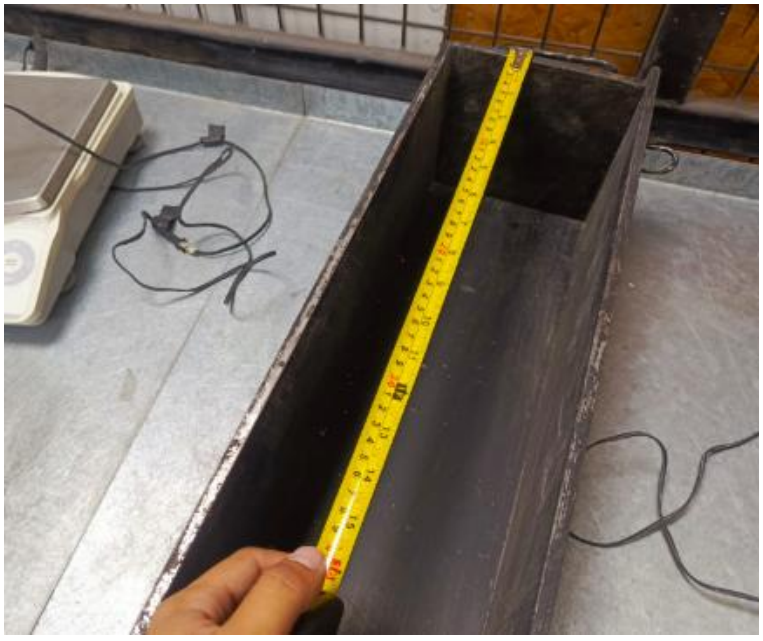
De la misma forma, para obtener los datos de la vigueta se analiza primeramente el peso de la vigueta, utilizando una balanza como se puede observar en la Figura 3-18.

Figura 3-18: Obtención del peso de la vigueta

Fuente: Elaboración propia

Tras esto procedemos a obtener las dimensiones de la vigueta con la ayuda de un flexómetro como se puede observar en la Figura 3-19, obteniendo así los valores del largo y ancho de la probeta, además de la altura de la vigueta.

Figura 3-19: Medición de las dimensiones de la vigueta



Fuente: Elaboración propia

3.9 Dosificación de las fibras de acero residuales

La dosificación de las fibras de acero que se adicionarán en la mezcla de hormigón se ve expresada en un porcentaje del volumen total de la mezcla, a continuación, se explicará el procedimiento que se llevó a cabo para determinar esta cantidad.

En el caso de los cilindros, se analizó las dimensiones del molde a utilizar, con eso se calculó su volumen. Posteriormente, con una relación del volumen con la masa y la densidad, se procedió a calcular la cantidad de ramos de acero que se utilizarán en cada mezcla dependiendo del porcentaje, se detalla a continuación la Tabla 3-2 que explica esto.

Tabla 3-2: Dimensiones de los cilindros

Dimensiones Cilindro		
Altura	30	cm
Radio	7,5	cm

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo de su volumen:

Ecuación 3-7

$$V = \pi r^2 h$$

V = Volumen

r = Radio

h = Altura

$$V = 5301{,}44cm3$$

Luego, con una relación entre volumen, masa y densidad del acero (7,85g/cm3), se pudo determinar la cantidad (en gramos) de acero que se necesitará en cada cilindro.

Ecuación 3-8

$$V = \frac{m}{d}$$

V = Volumen

m = Masa

d = Densidad

Despejando la masa, se puede obtener los siguientes datos mostrados en la Tabla 3-3:

Tabla 3-3: Cantidades de acero para los cilindros

Porcentaje de volumen			Cantidad de gramos		
0,5%	26,51	cm3	**0,5%**	208,08	gr
0,75%	39,76	cm3	**0,75%**	312,12	gr
1,5%	79,52	cm3	**1,5%**	624,24	gr

Fuente: Elaboración propia

Las cantidades de acero totales en el caso de los cilindros se detallan a continuación en la Tabla 3-4:

Tabla 3-4: Cantidades totales de acero (cilindros)

Cantidades de acero Totales (Cilindros)			
Porcentajes	**n de muestras**	**gr por muestra**	**Total**
0,5%	6	208,08	1248,49
0,75%	6	312,12	1872,73
1,5%	6	624,24	3745,47
Sin fibras	6	0	0
TOTAL	**24**		**6866,69**

Fuente: Elaboración propia

En las viguetas, se da de forma similar, se analizaron las dimensiones del molde a utilizar, con eso se calculó su volumen. Posteriormente, con una relación del volumen con la masa y la densidad, se procedió a calcular la cantidad de ramos de acero que se utilizarán en cada mezcla dependiendo del porcentaje, se detalla a continuación la Tabla 3-5 que explica esto.

Tabla 3-5: Dimensiones de la vigueta

	Dimensiones Vigueta	
Alto (a)	15	cm
Ancho (b)	15	cm
Profundidad (c)	45	cm

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo de su volumen:

Ecuación 3-9

$$V = a * b * c$$

V = Volumen

a = Alto

b = Ancho

c = Profundidad

$$V = 10125cm3$$

Luego, con una relación entre volumen, masa y densidad del acero (7,85g/cm3), se pudo determinar la cantidad (en gramos) de acero que se necesitará en cada vigueta.

Ecuación 3-10

$$V = \frac{m}{d}$$

V = Volumen

m = Masa

d = Densidad

Despejando la masa, se puede obtener los siguientes datos mostrados en la Tabla 3-6:

Tabla 3-6: Cantidades de acero para las viguetas

Porcentaje de volumen			Cantidad de gramos		
0,5%	50,63	cm3	**0,5%**	397,41	gr
0,75%	75,94	cm3	**0,75%**	596,11	gr
1,5%	151,88	cm3	**1,5%**	1192,22	gr

Fuente: Elaboración propia

Las cantidades de acero totales en el caso de las viguetas se detallan a continuación en la Tabla 3-7:

Tabla 3-7: Cantidades totales de acero (viguetas)

Cantidades de acero Totales (Viguetas)			
Porcentajes	**n de muestras**	**gr por muestra**	**Total**
0,5%	3	397,41	1192,22
0,75%	3	596,11	1788,33
1,5%	3	1192,22	3576,66
Sin fibras	3	0	0
TOTAL	**12**		**6557,20**

Fuente: Elaboración propia

3.10 Curva granulométrica

A partir de los datos recopilados en el laboratorio, se pudo obtener la Tabla 3-8 y la Tabla 3-9 que corresponden a la granulometría del agregado fino:

Tabla 3-8: Granulometría agregado fino

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO						
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (g)	Acumulado (g)	%Retenido	%Acumulado	%Pasa
3/8	9,5	4	4	0,41493776	0,414937759	99,585062
4	4,75	107	111	11,0995851	11,51452282	88,485477
8	2,36	202	313	20,9543568	32,46887967	67,531120
16	1,18	168	481	17,4273859	49,89626556	50,103734
30	0,6	200	681	20,746888	70,64315353	29,356846
50	0,3	205	886	21,2655602	91,90871369	8,0912863
100	0,15	58	944	6,01659751	97,9253112	2,0746888
200	0,075	17	961	1,76348548	99,68879668	0,3112033
Fondo	----------	3	964	0,31120332	100	0
TOTAL		**964**				

Fuente: Elaboración propia

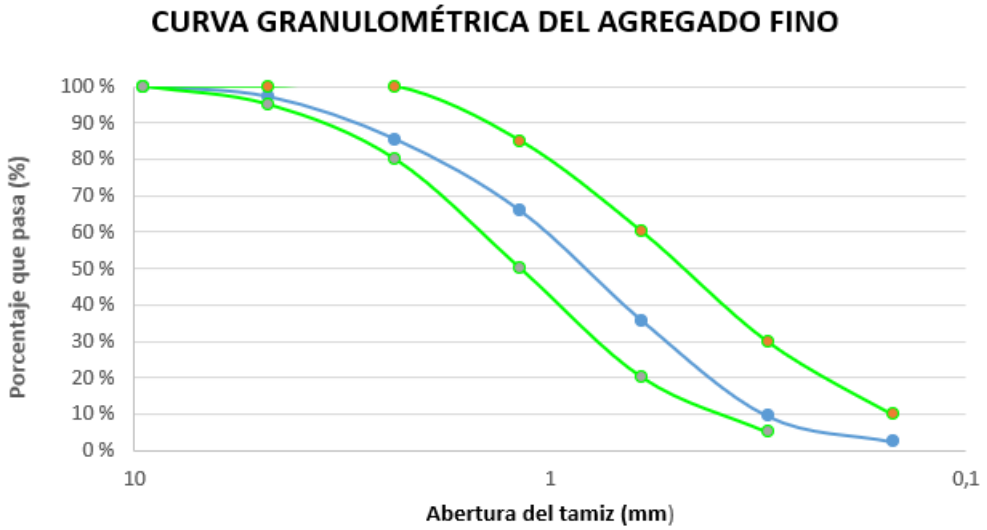
Tabla 3-9: Representación gráfica agregado fino

TAMIZ	ABERTURA	%PASA	LÍMITES	LIM SUP	LIM INF
3/8	9,5	99,585062	100	100	100
4	4,75	88,485477	100-95	100	95
8	2,36	67,531120	100-80	100	80
16	1,18	50,103734	85-50	85	50
30	0,6	29,356846	60-20	60	20
50	0,3	8,0912863	30-5	30	5
100	0,15	2,0746888	10-0	10	0
200	0	0,3112033			

Fuente: Elaboración propia

Partiendo de estos datos se puede graficar la curva granulométrica que se detalla a continuación en la Figura 3-20:

Figura 3-20: Curva granulométrica agregado fino



Fuente: Elaboración propia

De igual manera sucede con el agregado grueso, del laboratorio se obtienen los siguientes datos mostrados en la Tabla 3-10 y la Tabla 3-11:

Tabla 3-10: Granulometría agregado grueso

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO						
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido (g)	Acumulado (g)	%Retenido	%Acumulado	%Pasa
1-1/2”	37,5	0	0	0	0	100
1”	25	21	21	0,211288862	0,211288862	99,78871114
3/4”	19	1086	1107	10,92665258	11,13794144	88,86205856
1/2"	12,5	5384	6491	54,17043968	65,30838112	34,69161888
3/8”	9,5	1251	7742	12,58677935	77,89516048	22,10483952
N° 4	4,75	1369	9111	13,77402153	91,66918201	8,33081799
Pasa N° 4	----------	828	9939	8,33081799	100	0
TOTAL		**9939**				

Fuente: Elaboración propia

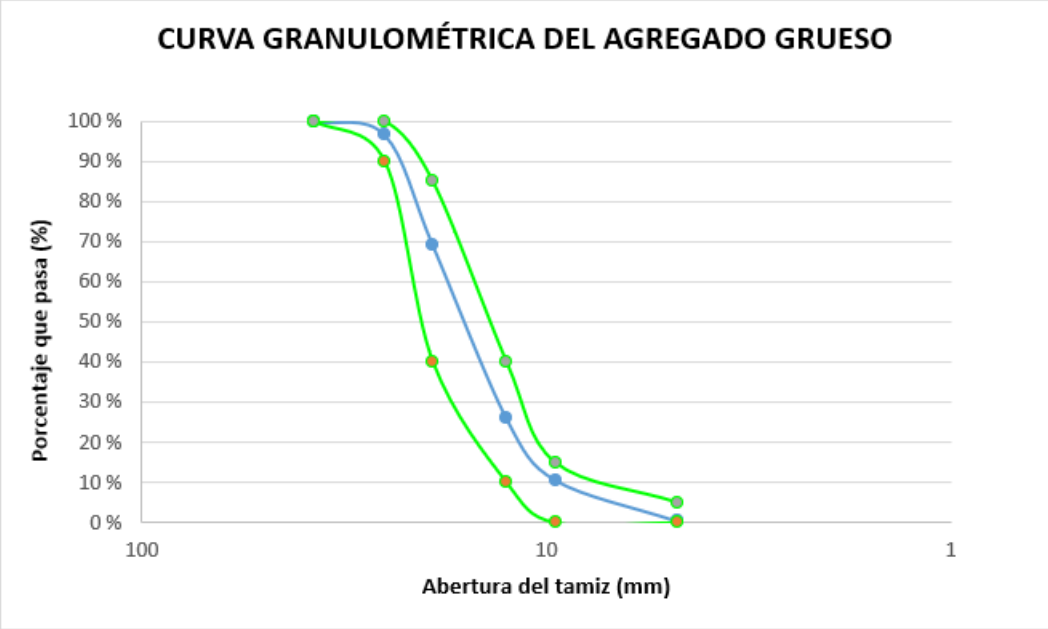
Tabla 3-11: Representación gráfica agregado grueso

TAMIZ	ABERTURA	%PASA	LÍMITES	LIM SUP	LIM INF
1-1/2”	37,5	100	100	100	100
1”	25	99,78871114	100-90	100	90
3/4”	19	88,86205856	85-40	85	40
1/2"	12,5	34,69161888	40-10	40	10
3/8”	9,5	22,10483952	15-0	15	0
N° 4	4,75	8,33081799	5-0	5	0

Fuente: Elaboración propia

Partiendo de estos datos se puede graficar la curva granulométrica que se detalla a continuación en la Figura 3-21:

Figura 3-21: Curva granulométrica agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

3.11 Tratamiento de las fibras de acero residuales

Para empezar las fibras de acero fueron obtenidas de varios tornos en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Fueron llevadas hacia el laboratorio de materiales y mecánica de suelos en la facultad de Ciencia y tecnología en la Universidad del Azuay.

Primero al analizar la dosificación de las fibras de acero residuales para cada probeta se procedió a realizar su pesaje como se puede observar en la Figura 3-22, para comprobar que se tenga la cantidad adecuada para el proyecto de investigación.

Figura 3-22: Medición del peso de las fibras de acero residuales

Fuente: Elaboración propia

Tras ello al estas ser de difícil manejo, se procedió a dividir las fibras como se observa en la Figura 3-23 y a cortarlas de un tamaño similar como se puede observar en la Figura 3-24, el cual fue de 1” y media. Luego de revisar que se tenga la cantidad óptima para realizar las 36 probetas, en las cuales se dividen en 24 cilindros para las pruebas de compresión y tracción y 12 viguetas para la prueba de flexión. Dividimos las cantidades de fibras para cada probeta y para cada porcentaje en distintos envases para mayor facilidad a momento de verterlas en la mezcla de hormigón.

Figura 3-23: División de las fibras de acero residuales

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-24: Corte de las fibras de acero residuales

Fuente: Elaboración propia

3.12 Realización de la mezcla

La mezcla se realizó en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la Universidad del Azuay, para ello se alquiló una concretera de mayores dimensiones como se observa en la para realizar más cantidad de mezcla y de probetas en menos tiempo.

Figura 3-25: Mezcladora

Fuente: Elaboración propia

Primero para la realización de la mezcla se preparó las probetas, vertiendo aceite dentro de ellas como se observa en la Figura 3-26 y la Figura 3-27 para mayor facilidad al momento de ser retiradas las probetas luego de que la mezcla este completamente seca. Esto se hace 24 horas antes de realizar la mezcla, en cilindros y viguetas.

Figura 3-26: Colocación de aceite en cilindros

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-27: Colocación de aceite en viguetas

Fuente: Elaboración propia

Tras tener listas las probetas, se procedió a la realización de la mezcla, primero con el diseño de la mezcla ya hecho se observó las cantidades necesarias para realizar una probeta de cilindro y una de vigueta, estas se mayoraron con un 10% para evitar que falte cantidad de mezcla. Con la ayuda de una pala y de envases se procedió a la medición correcta de los pesos de la arena, grava y cemento en la balanza como se observa en la Figura 3-28.

Figura 3-28: Medición de los pesos exactos para la mezcla

Fuente: Elaboración propia

Luego de esto se vierten los materiales pesados y la cantidad de agua medida dentro de la mezcladora como se observa en la Figura 3-29. Dejamos que todo se mezcle en aproximadamente cinco minutos y vertimos toda la mezcla para la realización de las distintas probetas como se observa en la Figura 3-30.

Figura 3-29: Materiales y agua vertidos en la mezcladora

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-30: Mezcla vertida para realización de probetas

Fuente: Elaboración propia

- **Realización de cilindros**

Primero realizamos las probetas cilíndricas sin fibras de acero residuales, para ello con la mezcla ya realizada, tomamos la probeta cilíndrica y colocamos mezcla ocupando 1/3 del volumen total. Durante la elaboración de los cilindros reforzados con fibras de acero residuales, se adoptó un procedimiento de colocación en capas para asegurar una distribución uniforme dentro de la mezcla. Primero, se vertió la primera capa de hormigón incorporando de manera homogénea una tercera parte del contenido total de fibras de acero, luego, se procedió a la compactación manual mediante varillado para eliminar los vacíos de aire. Posteriormente, se repitió el procedimiento con la segunda capa incorporando nuevamente otra tercera parte de la mezcla con fibras acompañada de la compactación y finalmente se repitió el proceso con la última capa como se observa en la Figura 3-31 (Moya & Cando, 2018). Tras ello se compacta cada tercio mediante 25 golpes con una varilla de apisonado como se observa en la Figura 3-32 y también se dan 15 golpes con el martillo de goma en cada capa para mejor compactación y luego nivelando la superficie con una cuchara metálica (ASTM, 2023).

Figura 3-31: Colocación de fibras de acero residuales en las probetas cilíndricas

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-32: Compactación de probetas cilíndricas mediante varilla

Fuente: Elaboración propia

- **Realización de viguetas**

Para la realización de las viguetas tomamos la probeta de la vigueta y colocamos mezcla ocupando la mitad del volumen total formando así dos capas, en las probetas que poseen fibras de acero residuales en distintas dosificaciones se agregan también en cada capa de la probeta, la mitad de la cantidad total de fibras de acero residuales como se observa en la Figura 3-33 (Moya & Cando, 2018). Tras ello se compacta cada capa mediante 60 golpes con una varilla de apisonado como se observa en la Figura 3-34 y también se dan 15 golpes con el martillo de goma en cada lado del molde para cada capa para mejor compactación como se puede observar en la Figura 3-35 y luego nivelando la superficie con una cuchara metálica (ASTM, 2023).

Figura 3-33: Colocación de fibras de acero residuales en viguetas

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-34: Compactación de viguetas mediante varilla

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-35: Compactación de viguetas mediante martillo de goma

Fuente: Elaboración propia

3.13 Curado de las muestras

Luego de realizar las probetas cilíndricas y viguetas estas se las debe dejar secar 24 horas como se puede ver en la Figura 3-36. Antes de ser desmoldadas se marca la fecha de rotura y la cantidad de fibras de acero residuales que tiene para cada ensayo, luego se las desmolda mediante la ayuda de una llave inglesa o un playo como se observa en la Figura 3-37 para su posterior curado.

Figura 3-36: Secado de probetas cilíndricas y viguetas

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-37: Desmolde de probetas cilíndricas

Fuente: Elaboración propia

Tras desmoldar todas las probetas se colocan todas las muestras en la cámara de curado, para ello primero la preparamos llenándola de agua como se puede observar en la Figura 3-38. Posteriormente se colocan los cilindros y las viguetas en la cámara de curado y el agua debe sobrepasar la altura de las muestras como se observa en la Figura 3-39 y se dejan ahí hasta que se cumpla el día donde se debe realizar los diferentes ensayos a los 7, 14 y 28 días de su elaboración. Antes de realizar los distintos ensayos, se retiran las muestras de la cámara de curado y se las deja secar unas horas como en la Figura 3-40.

Figura 3-38: Preparación de la cámara de curado

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-39: Colocación de viguetas en la cámara de curado

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-40: Secado de las muestras previo a realización de ensayos

Fuente: Elaboración propia

3.14 Realización de ensayos

Con el objetivo de evaluar la influencia de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón, se realizaron los siguientes ensayos: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta (ensayo brasileño) y resistencia a la flexión. Todos estos ensayos se llevaron a cabo siguiendo las recomendaciones y procedimientos establecidos en el ACI (American Concrete Institute).

- **Ensayo de compresión**

Este ensayo se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la norma ASTM C39/C39M-24 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete

Specimens" Según esta norma, los cilindros a ser evaluados deben tener las dimensiones de 300mm de altura y 150mm de diámetro, es decir la relación debe ser 2:1 (ASTM, 2024).

El proceso que se siguió luego de la mezcla fue dejarlos en agua y probar en tres distintas edades: a los 7 días, 14 días y 28 días. El proceso se daba de la siguiente forma.

- Primero sacamos los cilindros para que se sequen y no esté presente demasiada agua.
- Luego se miden las dimensiones reales debido a que puede tener ciertas modificaciones y se pesan los cilindros antes de romperlos como se muestra en la Figura 3-41.

Figura 3-41: Peso de los cilindros antes del ensayo a compresión

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se colocan en la prensa hidráulica donde se aplica una carga a lo largo del eje longitudinal de los cilindros; esta carga produce la rotura del cilindro como se muestra en la Figura 3-42.

Figura 3-42: Cilindro en la prensa hidráulica antes de romperlo

Fuente: Elaboración propia

- **Ensayo de tracción indirecta (ensayo brasileño)**

Este ensayo se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la norma ASTM C496/C496M "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens" Según esta norma, los cilindros a ser evaluados deben tener las dimensiones de 300mm de altura y 150mm de diámetro, es decir la relación debe ser 2:1 (ASTM, 2017).

El proceso que se siguió luego de la mezcla fue dejarlos en agua y probar en tres distintas edades: a los 7 días, 14 días y 28 días. El proceso se daba de la siguiente forma.

- Primero sacamos los cilindros para que se sequen y no esté presente demasiada agua.
- Luego se miden las dimensiones reales debido a que puede tener ciertas modificaciones y se pesan los cilindros antes de romperlos como se observa en la Figura 3-43.

Figura 3-43: Peso de los cilindros antes del ensayo a tracción indirecta (brasileño)

Fuente: Elaboración propia

En este ensayo, a diferencia del ensayo a compresión, las probetas se colocan horizontalmente en la prensa hidráulica y se aplica una carga compresiva diametral a lo largo del eje longitudinal del cilindro como se muestra en la Figura 3-44. Esta carga genera un estado de tracción perpendicular provocando la rotura del cilindro por tracción (ASTM, 2017).

Figura 3-44: Cilindro en la prensa hidráulica antes de romperlo por tracción

Fuente: Elaboración propia

- **Ensayo de flexión en viguetas**

Este ensayo se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la norma ASTM C1609/C1609M-24 “Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)” Según esta norma, las dimensiones de las viguetas deben ser de 150x150x550 mm (ASTM, 2024).

El proceso es similar al de los ensayos anteriores, luego de realizar la mezcla, se dejaron las viguetas en agua y se probaron en 3 distintas edades: a los 7 días, 14 días y 28 días. El proceso se daba de la siguiente forma.

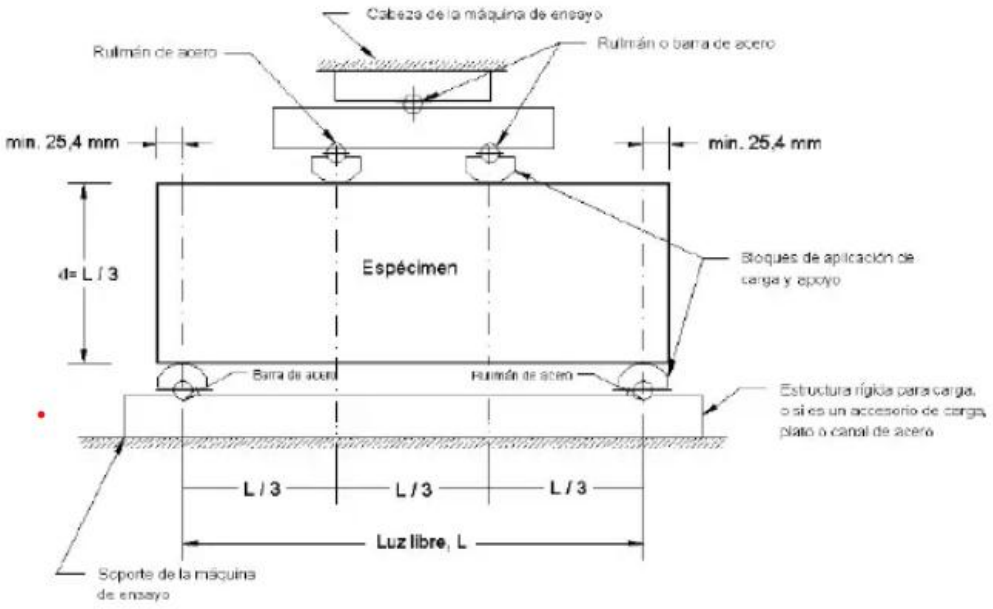
- Primero sacamos las viguetas para que se sequen y no esté presente demasiada agua.
- Luego se miden las dimensiones reales debido a que puede tener ciertas modificaciones y se pesan las viguetas antes de romperlas como se muestra en la Figura 3-45.

Figura 3-45: Peso de las viguetas antes del ensayo a flexión

Fuente: Elaboración propia

En este ensayo, las viguetas fueron sometidas al ensayo de flexión con carga en dos puntos distribuidos simétricamente a lo largo del claro. Para mayor facilidad, se trazaron diferentes líneas siguiendo la norma como se observa en la Figura 3-46, para poder realizar el ensayo.

Figura 3-46: Especificaciones de las viguetas según la norma



Fuente: (Castillo et al, 2014)

Siguiendo estos parámetros, se realizó el mismo proceso antes de proceder con el ensayo como se muestra en la Figura 3-47.

Figura 3-47: Trazos en las viguetas según la norma

Fuente: Elaboración propia

Con estos trazos, se puede colocar en la prensa con las diferentes adaptaciones para realizar el ensayo de flexión como se muestra en la Figura 3-48.

Figura 3-48: Vigueta en la prensa hidráulica con las adaptaciones para flexión

Fuente: Elaboración propia

4. Capítulo 4: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Dosificación de las muestras

La dosificación dependerá del tipo de probeta a ser utilizada, por lo tanto, su volumen será distinto, sus pesos y sus cantidades de fibras también. Antes de la realización de la mezcla, se separó y pesó las cantidades necesarias de fibras de acero residuales para facilitar el proceso.

Se realizaron varias dosificaciones que se clasificaron dependiendo de la cantidad de fibras que se iban a utilizar ya sean 0%, 0.5%, 0.75% y 1.5%. Además, se clasificaron en cilindros y en viguetas, quedando de la siguiente manera:

En la Tabla 4-1 se observa la dosificación de cilindros sin fibras.

Tabla 4-1: Primera dosificación de cilindros sin fibras

Primera Dosificación Cilindros					
Elemento	**Volumen probeta (m3) D=15cm h=30cm**	**Número de Probetas**	**Volumen Total (m3)**	**Dosificación por Probeta (gr)**	**Dosificación Total (gr)**
Agua	0,0056	6	0,0336	1181	7086
Cemento				2568	15408
Arena				5492	32952
Grava				6712	40272
Fibras 0%				0	0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-2 se observa la dosificación de cilindros con 0.5% de fibras.

Tabla 4-2: Segunda dosificación de cilindros con 0,5% de fibras

Segunda Dosificación Cilindros					
Elemento	**Volumen probeta (m3) D=15cm h=30cm**	**Número de Probetas**	**Volumen Total (m3)**	**Dosificación por Probeta (gr)**	**Dosificación Total (gr)**
Agua	0,0056	6	0,0336	1181	7086
Cemento				2568	15408
Arena				5492	32952
Grava				6712	40272
Fibras 0,5%				208,08	1248,48

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-3 se observa la dosificación de cilindros con 0.75% de fibras.

Tabla 4-3: Tercera dosificación de cilindros con 0,75% de fibras

Tercera Dosificación Cilindros					
Elemento	**Volumen probeta (m3) D=15cm h=30cm**	**Número de Probetas**	**Volumen Total (m3)**	**Dosificación por Probeta (gr)**	**Dosificación Total (gr)**
Agua	0,0056	6	0,0336	1181	7086
Cemento				2568	15408
Arena				5492	32952
Grava				6712	40272
Fibras 0,75%				312,12	1872,72

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-4 se observa la dosificación de cilindros con 1.5% de fibras.

Tabla 4-4: Cuarta dosificación de cilindros con 1,5% de fibras

Cuarta Dosificación Cilindros					
Elemento	**Volumen probeta (m3) D=15cm h=30cm**	**Número de Probetas**	**Volumen Total (m3)**	**Dosificación por Probeta (gr)**	**Dosificación Total (gr)**
Agua	0,0056	6	0,0336	1181	7086
Cemento				2568	15408
Arena				5492	32952
Grava				6712	40272
Fibras 1,5%				624,24	3745,44

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-5 se observa la dosificación de viguetas sin fibras.

Tabla 4-5: Primera dosificación de viguetas sin fibras

Primera Dosificación Viguetas					
Elemento	**Volumen Vigueta (m3) a=15cm h=15cm p=53cm**	**Número de Viguetas**	**Volumen Total (m3)**	**Dosificación por Vigueta (gr)**	**Dosificación Total (gr)**
Agua	0,01193	3	0,03579	2255	6765
Cemento				4904	14712
Arena				10488	31464
Grava				12818	38454
Fibras 0%				0	0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-6 se observa la dosificación de viguetas con 0.5% de fibras.

Tabla 4-6: Segunda dosificación de viguetas con 0,5% de fibras

Segunda Dosificación Viguetas					
Elemento	**Volumen Vigueta (m3) a=15cm h=15cm p=53cm**	**Número de Viguetas**	**Volumen Total (m3)**	**Dosificación por Vigueta (gr)**	**Dosificación Total (gr)**
Agua	0,01193	3	0,03579	2255	6765
Cemento				4904	14712
Arena				10488	31464
Grava				12818	38454
Fibras 0,5%				397,41	1192,23

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-7 se observa la dosificación de viguetas con 0.75% de fibras.

Tabla 4-7: Tercera dosificación de viguetas con 0,75% de fibras

Tercera Dosificación Viguetas					
Elemento	**Volumen Vigueta (m3) a=15cm h=15cm p=53cm**	**Número de Viguetas**	**Volumen Total (m3)**	**Dosificación por Vigueta (gr)**	**Dosificación Total (gr)**
Agua	0,01193	3	0,03579	2255	6765
Cemento				4904	14712
Arena				10488	31464
Grava				12818	38454
Fibras 0,75%				596,11	1788,33

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4-8 se observa la dosificación de viguetas con 1.5% de fibras.

Tabla 4-8: Cuarta dosificación de viguetas con 1,5% de fibras

Cuarta Dosificación Viguetas					
Elemento	**Volumen Vigueta (m3) a=15cm h=15cm p=53cm**	**Número de Viguetas**	**Volumen Total (m3)**	**Dosificación por Vigueta (gr)**	**Dosificación Total (gr)**
Agua	0,01193	3	0,03579	2255	6765
Cemento				4904	14712
Arena				10488	31464
Grava				12818	38454
Fibras 1,5%				1192,22	3576,66

Fuente: Elaboración propia

4.2 Resultados de ensayos a compresión

Antes de realizar los ensayos a compresión se toman los datos generales de cada cilindro para la descripción de muestras como se indica en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9: Descripción de datos de las muestras cilíndricas para compresión

#Muestra	Fecha Elaboración (2025)	Cantidad Fibras	Fecha Rotura (2025)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área (cm2)	Volumen (cm3)
1	19/03	SF	26/03	7	15.1	30.15	12.88	179.08	5399.26
2	19/03	0.5%	26/03	7	15.05	30.1	12.58	180.27	5426.02
3	20/03	0.75%	27/03	7	15.1	30.05	12.91	179.08	5381.39
4	20/03	1.5%	27/03	7	15.08	30.1	11.73	178.61	5376.16
5	19/03	SF	02/04	14	15.1	30.08	12.94	179.08	5386.72
6	19/03	0.5%	02/04	14	15.09	30.1	12.32	178.84	5383.08
7	20/03	0.75%	03/04	14	15.07	30.07	12.65	178.38	5363.88
8	20/03	1.5%	03/04	14	15.12	30.07	11.37	179.55	5399.06
9	19/03	SF	16/04	28	15.1	30.09	12.48	179.08	5388.51
10	19/03	0.5%	16/04	28	15.08	30.07	12.81	178.61	5370.80
11	20/03	0.75%	17/04	28	15.1	30.1	12.11	179.08	5390.30
12	20/03	1.5%	17/04	28	15.1	30.06	12.21	179.08	5383.14

Fuente: Elaboración propia

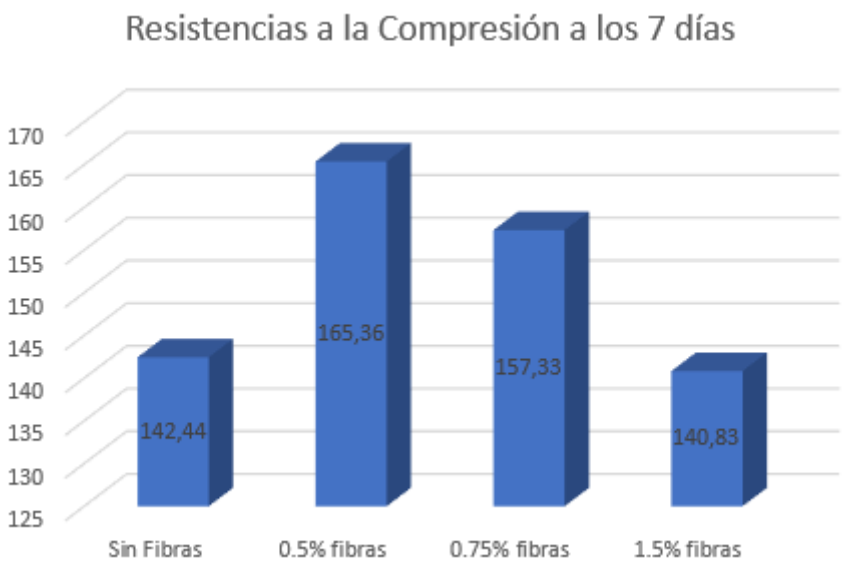
Luego de realizar los ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días de los cilindros con una dosificación de fibras de acero residuales del 0.5%, 0.75% y 1.5%, obtuvimos los siguientes resultados observados en la Tabla 4-10, la Figura 4-1, Figura 4-2 y la Figura 4-3. La Figura 4-4 muestra la evolución de la resistencia a compresión del hormigón a distintas edades y con diferentes dosificaciones de fibras de acero residuales.

Tabla 4-10: Resultados de los ensayos a compresión

Resistencias de los Cilindros a Compresión (kg/cm2)				
	Sin fibras	0.5% fibras	0.75% fibras	1.5% fibras
7 días	142.44	165.36	157.33	140.83
14 días	163.18	184.2	173.01	157.47
28 días	212.99	246.07	225.55	198.37

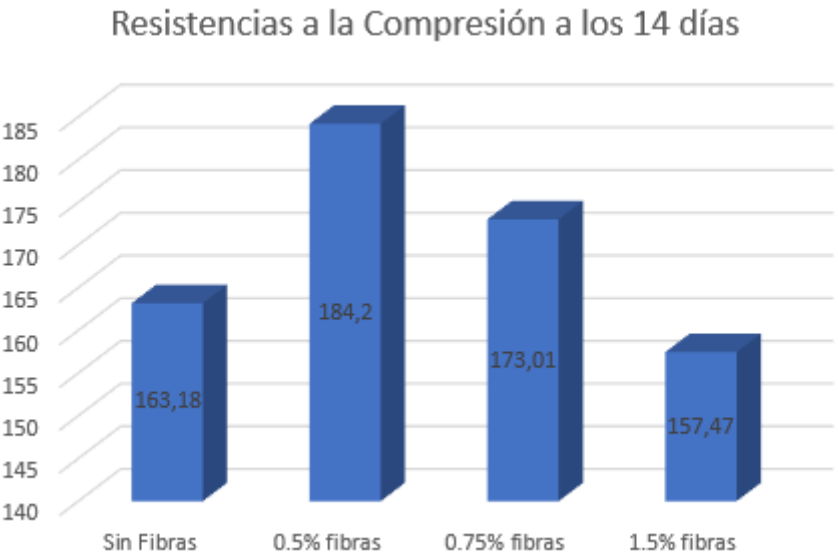
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-1: Resistencias a la compresión a los 7 días



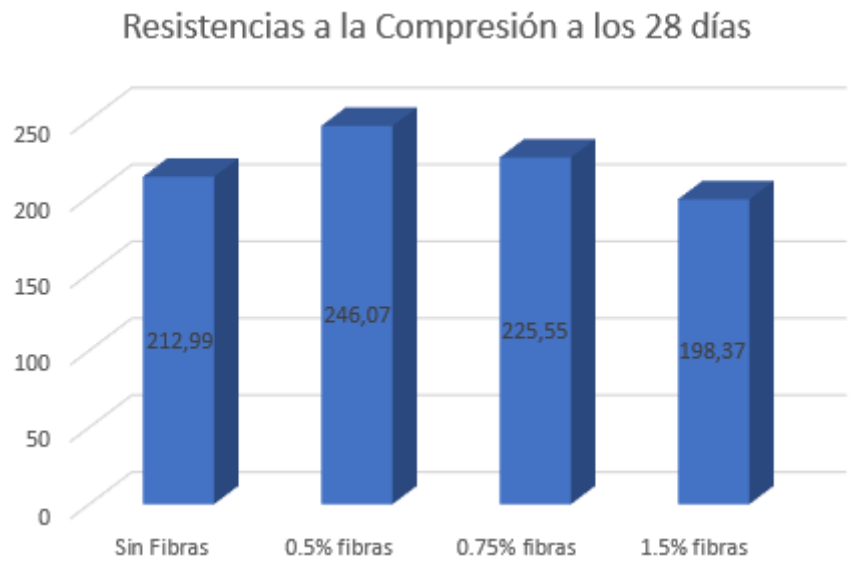
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-2: Resistencias a la compresión a los 14 días



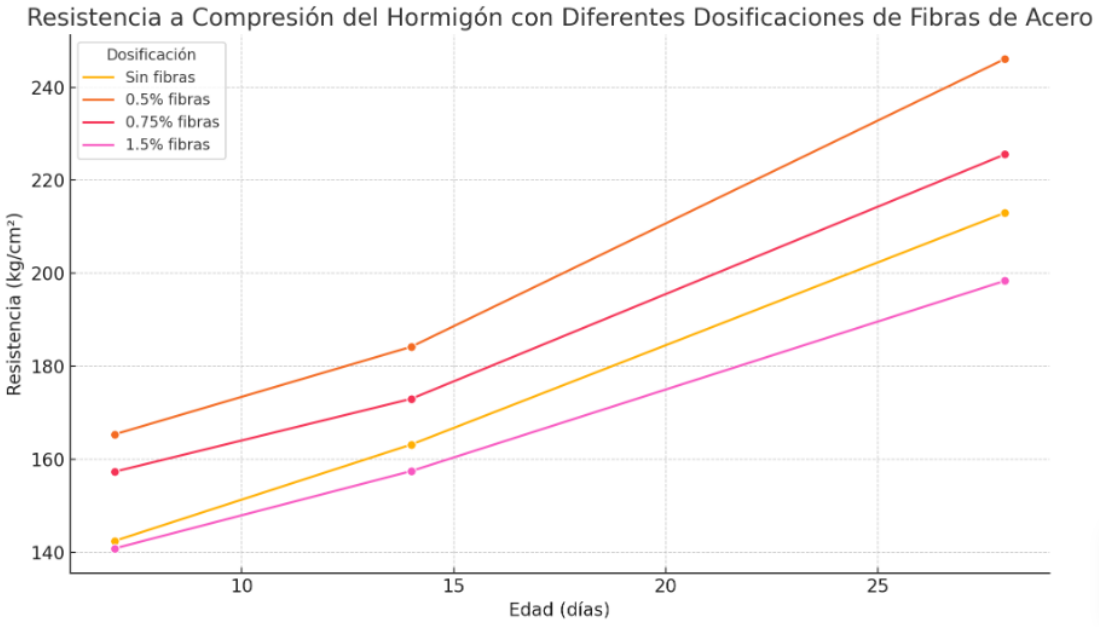
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-3: Resistencias a la compresión a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-4: Evolución de la resistencia a la compresión a distintas edades y dosificaciones



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4-10 indica que, a los 7 días, la muestra con 0.5% de fibras de acero residuales obtuvo la mayor resistencia (165.36 kg/cm²), lo cual significa un incremento del 16.09% en comparación con la mezcla sin fibras de acero residuales (142.44 kg/cm²). La muestra

con 0.75% de fibras de acero residuales también mostró una mejora grande del 10.44%. Sin embargo, la muestra con 1.5% de fibras de acero residuales evidenció una pequeña disminución en la resistencia (140.83 kg/cm²), posiblemente debido a dificultades en la trabajabilidad y compactación por el exceso de fibras.

A los 14 días, la resistencia de la muestra con 0.5% de fibras de acero residuales se elevó a 184.20 kg/cm², lo cual representa una mejora de 12.88%, la muestra con 0.75% de fibras de acero residuales también representó una mejora (173.01 kg/cm²), lo cual significa una mejora de 6.04%. La muestra con 1.5% de fibras de acero residuales mostró un valor inferior a la muestra sin fibras de acero (157.47 kg/cm²), lo que refuerza que si existen dosificaciones excesivas, estas pueden afectar negativamente la resistencia del material endurecido.

A los 28 días, la muestra con 0.5% de fibras de acero residuales alcanzó su máxima resistencia (246.07 kg/cm²), superando al hormigón sin fibras de acero residuales (212.99 kg/cm²) en un 15.53%. La muestra con 0.75% de fibras de acero residuales también logró un desempeño positivo (225.55 kg/cm²), lo cual significa un 5.89%. En cambio, la muestra con 1.5% de fibras de acero residuales obtuvo la menor resistencia a esta edad (198.37 kg/cm²), con una reducción del 6.86% respecto a la muestra sin fibras.

4.3 Resultados de ensayos a tracción

Antes de realizar los ensayos a tracción se toman los datos generales de cada cilindro para la descripción de muestras como se indica en la Tabla 4-11.

Tabla 4-11: Descripción de datos de las muestras cilíndricas para tracción

#Muestra	Fecha Elaboración (2025)	Cantidad Fibras	Fecha Rotura (2025)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área (cm2)	Volumen (cm3)
1	19/03	SF	26/03	7	14.9	30.1	12.46	174.36	5248.23
2	19/03	0.5%	26/03	7	14.8	30.1	12.19	172.03	5178.10
3	20/03	0.75%	27/03	7	15	30.15	12.48	176.71	5327.80
4	20/03	1.5%	27/03	7	15.1	30.1	11.82	179.07	5390.01
5	19/03	SF	02/04	14	15	30.1	12.66	176.71	5318.97
6	19/03	0.5%	02/04	14	14.8	30.1	12.75	172.03	5178.10
7	20/03	0.75%	03/04	14	15.1	30.09	12.59	179.07	5388.21
8	20/03	1.5%	03/04	14	15.07	30.1	12.15	178.36	5368.63
9	19/03	SF	16/04	28	15.09	30.09	12.96	178.84	5381.29
10	20/03	0.5%	17/04	28	15.1	30.09	12.31	179.07	5388.21
11	20/03	0.75%	17/04	28	15.06	30.09	12.80	178.13	5359.93
12	20/03	1.5%	17/04	28	15.1	30.1	11.96	179.07	5390.01

Fuente: Elaboración propia

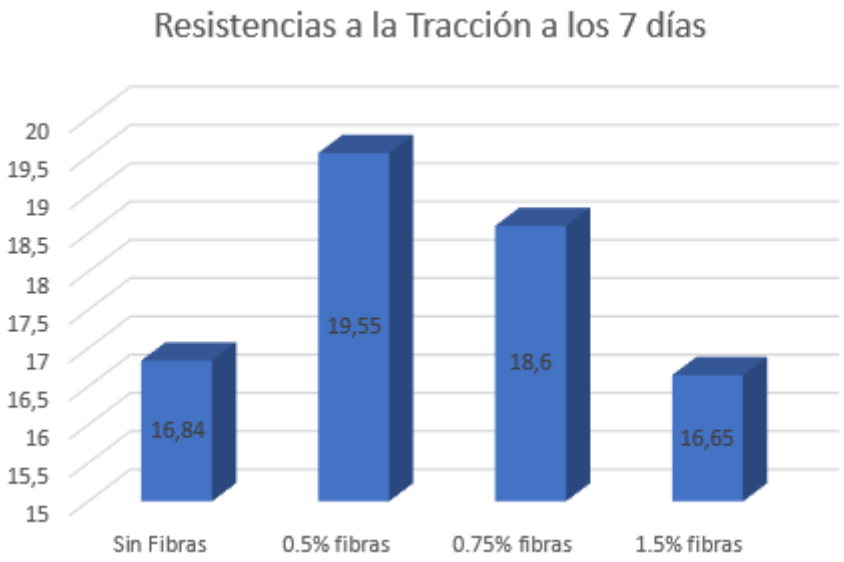
Luego de realizar los ensayos a tracción a los 7, 14 y 28 días de los cilindros con una dosificación de fibras de acero residuales del 0.5%, 0.75% y 1.5%, obtuvimos los siguientes resultados observados en la Tabla 4-12, la Figura 4-5, Figura 4-6 y la Figura 4-7. La Figura 4-8 muestra la evolución de la resistencia a la tracción del hormigón a distintas edades y con diferentes dosificaciones de fibras de acero residuales.

Tabla 4-12: Resultados de los ensayos a tracción

Resistencias de los Cilindros a Tracción (kg/cm2)				
	Sin fibras	0.5% fibras	0.75% fibras	1.5% fibras
7 días	16.84	19.55	18.6	16.65
14 días	22.26	25.13	23.6	21.48
28 días	23.37	27	24.75	21.77

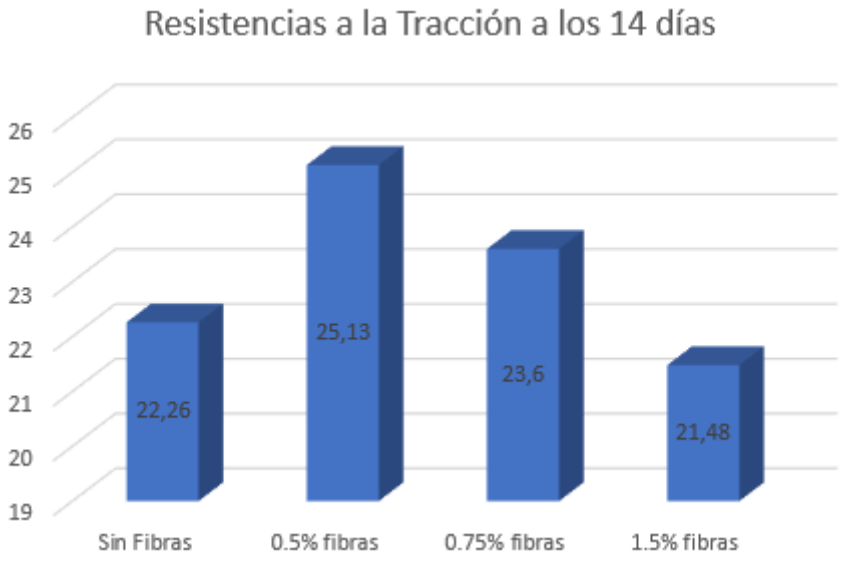
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-5: Resistencias a la tracción a los 7 días



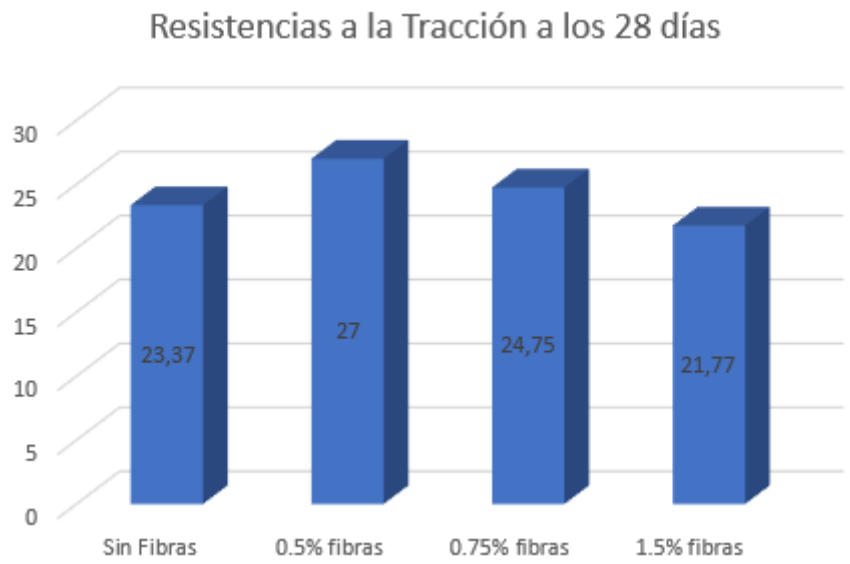
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-6: Resistencias a la tracción a los 14 días



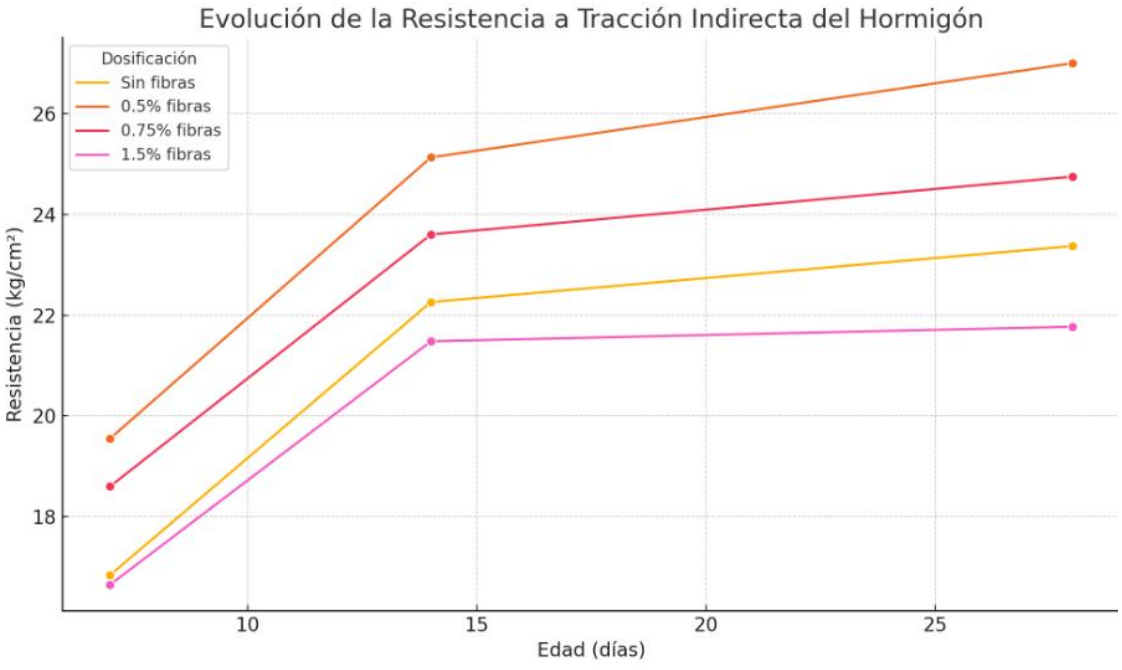
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-7: Resistencias a la tracción a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-8: Evolución de la resistencia a la tracción a distintas edades y dosificaciones



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4-12 indica que, a los 7 días, la mayor resistencia a la tracción fue obtenida por la muestra con 0.5% de fibras de acero residuales (19.55 kg/cm²), lo que significa una

mejora del 16.09% con respecto a la muestra sin fibras de acero residuales (16.84 kg/cm²). A esto le sigue la muestra con 0.75% de fibras de acero residuales, la cual alcanzó una resistencia de (18.60 kg/cm²) lo cual significa una mejora del 10.45%. En contraste, la muestra con 1.5% de fibras de acero residuales mostró una disminución del 1.13% con respecto a la muestra sin fibras, indicando que el exceso de fibras podría haber afectado negativamente la cohesión interna del material.

A los 14 días, la resistencia de la muestra con 0.5% de fibras de acero residuales se elevó a (25.13 kg/cm²), lo cual representa una mejora de 12.89%, la muestra con 0.75% de fibras de acero residuales también representó una mejora (23.60 kg/cm²), lo cual significa una mejora de 6.02%. La muestra con 1.5% de fibras de acero residuales mostró un valor inferior a la muestra sin fibras de acero (21.48 kg/cm²) lo cual representa una reducción del 3.50% con respecto a la muestra sin fibras.

A los 28 días, la muestra con 0.5% de fibras de acero residuales alcanzó su máxima resistencia (27.00 kg/cm²), superando al hormigón sin fibras de acero residuales (23.37 kg/cm²) en un 15.53%. La muestra con 0.75% de fibras de acero residuales también logró un desempeño positivo (24.75 kg/cm²), lo cual significa un 5.91%. En cambio, la muestra con 1.5% de fibras de acero residuales obtuvo la menor resistencia a esta edad (21.77 kg/cm²), con una reducción del 6.85% respecto a la muestra sin fibras de acero residuales.

4.4 Resultados de ensayos a flexión

Antes de realizar los ensayos a flexión se toman los datos generales de cada cilindro para la descripción de muestras como se observa en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Descripción de datos de las muestras de viguetas para flexión

#Muestra	Fecha Elaboración (2025)	Cantidad Fibras	Fecha Rotura (2025)	Edad (días)	Dimensiones (cm)	Peso (kg)	Área (cm2)	Volumen (cm3)
1	26/03	SF	02/04	7	15.5 x 15.2 x 53.4	26.79	235.6	13542.24
2	20/03	0.5%	27/03	7	15.5 x 15.3 x 53	27.35	237.15	12568.95
3	20/03	0.75%	27/03	7	15.48 x 15.21 x 53.1	26.38	235.45	12502.39
4	20/03	1.5%	27/03	7	15.49 x 15.2 x 53	27.55	235.44	12478.32
5	26/03	SF	09/04	14	15.5 x 15.2 x 53	28.61	235.6	12486.8
6	20/03	0.5%	03/04	14	15.48 x 15.3 x 52.9	27.03	236.84	12528.83
7	20/03	0.75%	03/04	14	15.5 x 15.3 x 53	26.96	237.15	12568.95
8	20/03	1.5%	03/04	14	15.51 x 15.3 x 53	27.87	237.29	12576.37
9	26/03	SF	23/04	28	15.5 x 15.36 x 53	26.98	238.08	12618.24
10	20/03	0.5%	17/04	28	15.5 x 15.28 x 52.9	26.92	236.84	12528.83
11	20/03	0.75%	17/04	28	15.7 x 15.29 x 53.1	26.43	240.05	12746.65
12	20/03	1.5%	17/04	28	15.48 x 15.3 x 53	27.78	236.84	12552.52

Fuente: Elaboración propia

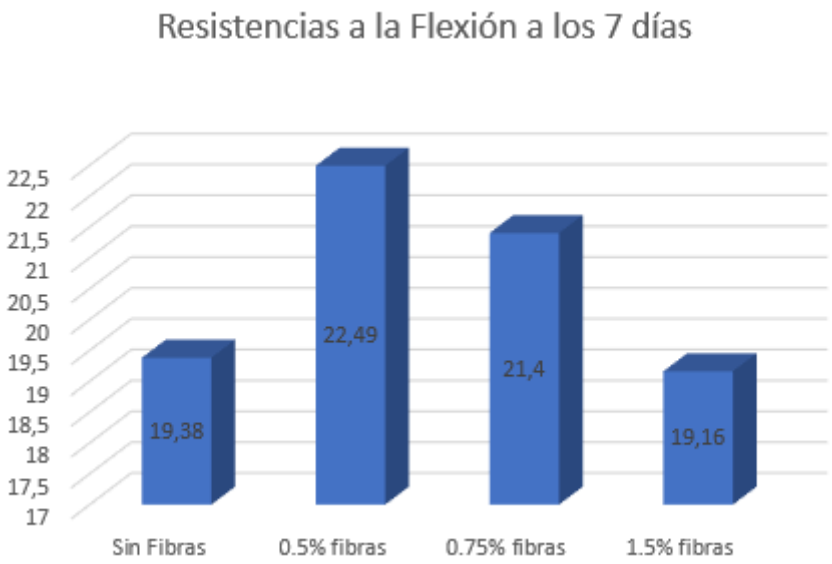
Luego de realizar los ensayos a tracción a los 7, 14 y 28 días de las viguetas con una dosificación de fibras de acero residuales del 0.5%, 0.75% y 1.5%, obtuvimos los siguientes resultados indicados en la Tabla 4-14, la Figura 4-9, Figura 4-10 y Figura 4-11 la. La Figura 4-12 muestra la evolución de la resistencia a la flexión del hormigón a distintas edades y con diferentes dosificaciones de fibras de acero residuales.

Tabla 4-14: Resultados de los ensayos a flexión

Resistencias de las Viguetas a Flexión (kg/cm2)				
	Sin fibras	0.5% fibras	0.75% fibras	1.5% fibras
7 días	19.38	22.49	21.4	19.16
14 días	22.2	25.06	23.53	21.42
28 días	28.97	33.47	30.68	26.98

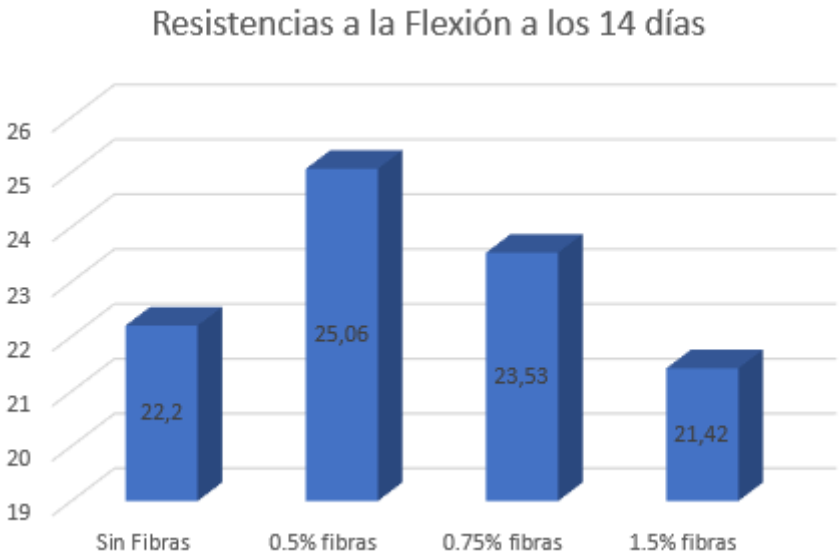
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-9: Resistencias a la flexión a los 7 días



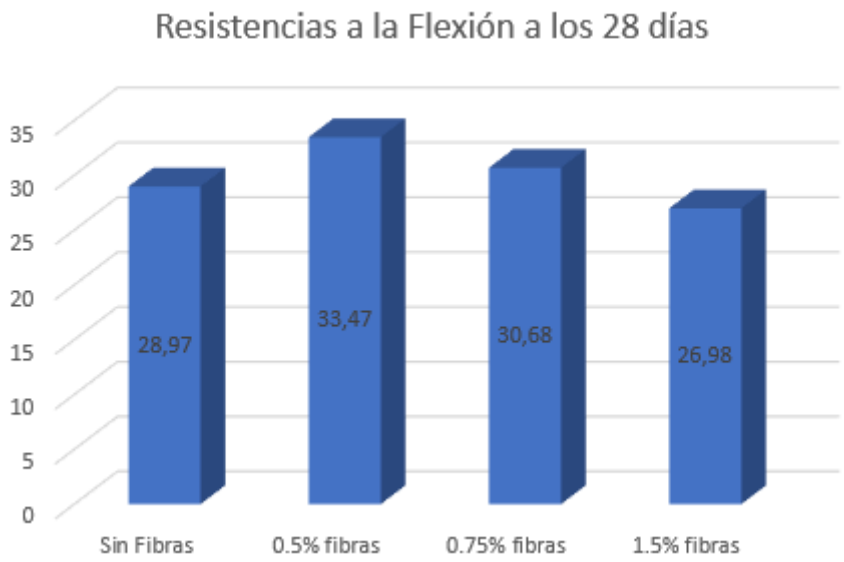
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-10: Resistencias a la flexión a los 14 días



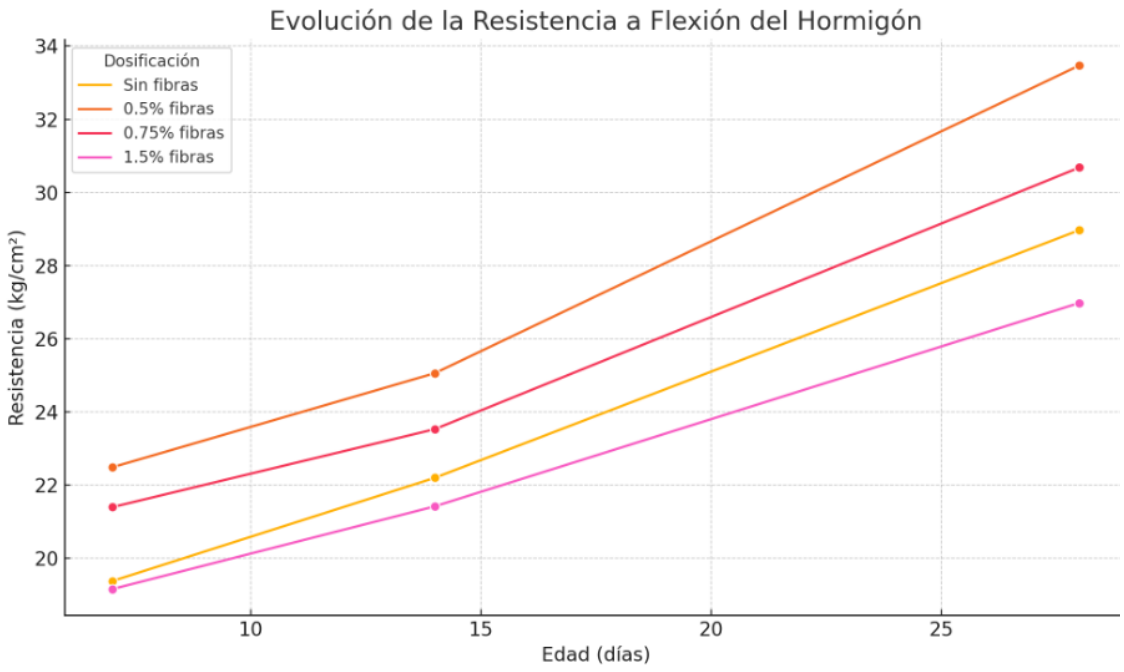
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-11: Resistencias a la flexión a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-12: Evolución de la resistencia a la flexión a distintas edades y dosificaciones



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4-14 indica que, a los 7 días, la muestra con 0.5% de fibras de acero residuales obtuvo la mayor resistencia a flexión (22.49 kg/cm²), mejorando a la muestra sin fibras

de acero residuales (19.38 kg/cm²) en un 16.05%. La muestra con 0.75% de fibras de acero residuales también mejoró a una resistencia de (21.4 kg/cm²), lo que representa en una mejora del 10.42% con respecto a la muestra sin fibras de acero residuales, en cambio la muestra con 1.5% de fibras de acero residuales mostró un desempeño ligeramente inferior al sin fibras de acero residuales (19.16 kg/cm²), lo cual es una disminución del 1.13%.

A los 14 días, el comportamiento fue similar. La mezcla con 0.5% de fibras de acero residuales alcanzó una resistencia mayor (25.06 kg/cm²), lo cual representa un aumento del 12.88% con respecto a la muestra sin fibras de acero residuales (22.2 kg/cm²). La dosificación de 0.75% de fibras de acero residuales generó una resistencia igual mayor (23.53 kg/cm²), lo cual representa una mejora del 5.99%, mientras que la muestra con 1.5% de fibras de acero residuales volvió a presentar una reducción en la resistencia (21.42 kg/cm²), lo cual representa el 3.51%.

Finalmente, a los 28 días, la resistencia de la muestra con 0.5% de fibras de acero residuales alcanzó la mayor resistencia (33.47 kg/cm²), lo que representa un incremento del 15.53% sobre el hormigón sin fibras de acero residuales (28.97 kg/cm²). La mezcla con 0.75% mostró también una mejora (30.68 kg/cm²), lo cual representa una mejora del 5.90% con respecto a la muestra sin fibras. En cambio, la muestra con 1.5% de fibras de acero residuales resultó nuevamente perjudicial, disminuyendo la resistencia a (26.98 kg/cm²), lo cual representa un 6.87% menos que la mezcla sin fibras de acero residuales.

4.5 Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo de titulación se analizó la influencia de las fibras de acero residuales en las propiedades mecánicas del hormigón, en donde luego de realizar los análisis granulométricos, diseño de la mezcla, mezcla del hormigón, realización de las muestras agregando distintas cantidades de fibras de acero residuales y la realización de los ensayos de resistencia a compresión, tracción y flexión, se obtuvo los distintos resultados mostrados en la Tabla 4-10, Tabla 4-12 y Tabla 4-14.

Los ensayos mostraron que las fibras de acero residuales tienen una influencia positiva en dosificaciones a menor medida como en las dosificaciones de 0.5% y 0.75% del volumen total de la muestra, esta mejora se evidenció en todos los ensayos realizados.

La máxima mejora fue agregando 0.5% de fibras de acero residuales. En compresión, tracción indirecta y flexión alcanzó una mejora del 15.53% a los 28 días, siendo esta la

dosificación óptima para mejorar el desempeño mecánico sin afectar la trabajabilidad. Las fibras de acero recicladas mejoran notablemente las propiedades mecánicas del hormigón, debido a que tienen forma de espiral y a la rugosidad que posee su superficie (Medina & Vargas, 2015). Las fibras de acero residuales generan un efecto de puenteo de fisuras, lo cual genera que resista la apertura de micro fisuras dentro del hormigón, este mecanismo genera una mejora en la tenacidad y ductilidad del hormigón, retarda la propagación de grietas y permite que el hormigón absorba más energía antes del colapso. Las fibras de acero residuales también redistribuyen las tensiones en la matriz del hormigón, lo que genera una mejora de la homogeneidad estructural, disminuye la formación de zonas críticas o puntos de falla prematuros (Bedoya & Dzul, 2015). También, aunque el hormigón es frágil bajo tracción, el añadir fibras de acero residuales mejora su capacidad de carga tras la fisuración inicial, esto debido a la acción de anclaje y fricción que posee las fibras de acero residuales, esto se traduce en mayor resistencia residual e importante en flexión y cargas dinámicas. La presencia de fibras puede llegar a aumentar la cohesión interna de la mezcla del hormigón en estado fresco, reduciendo la segregación y mejorando la resistencia final. Por último, las fibras de acero residuales refuerzan el hormigón frente a cargas de impacto, abrasión o fatiga, de esta manera haciendo que el hormigón resista en condiciones de servicio severas, mejorando el comportamiento estructural a largo plazo (Delgado & Zamora, 2012).

Al contrario, al realizar dosificaciones del 1.5% de fibras de acero residuales, estas mostraron una tendencia negativa en su rendimiento con respecto a las que no tenían fibras de acero residuales principalmente porque al momento de compactar la mezcla, su alto volumen no permitía un buen varillado, por lo que generalmente se debe a problemas asociados con la trabajabilidad, compactación y distribución homogénea de las fibras por su alto volumen, lo que genera vacíos y zonas débiles, dificultan la compactación, aumentan la porosidad y reducen la adherencia entre los agregados (Delgado & Zamora, 2012). Otra razón por la que las fibras pueden no ayudar a las propiedades mecánicas del hormigón es porque las fibras no se distribuyen uniformemente generando zonas débiles y puntos de concentración de esfuerzo. También si las fibras residuales están oxidadas, contaminadas o deformadas irregularmente, no logran una adecuada adherencia con la matriz del cemento, sin transferir esfuerzos de manera efectiva. Por último, las fibras residuales también pueden interferir con el asentamiento natural o con la hidratación al

momento del curado, si absorben agua o se forma capas alrededor del cemento, esto puede alterar la microestructura del hormigón (Medina & Vargas, 2015).

Los resultados demuestran que las fibras de acero residuales pueden ser utilizadas de manera eficaz como refuerzo en hormigón estructural, contribuyendo de esta manera no solo al desempeño mecánico, sino que también promueve practicas sostenibles dentro del sector de la construcción.

Referencias

Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: CONCEPTOS, PROBLEMAS Y ESTRATEGIAS. *DEARQ - Revista de Arquitectura*(4), 14-23. Obtenido de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341630313002

ASTM. (2017). *ASTM C496/C496M-17. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM. (2023). *ASTM C31/C31M – Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.* West Conshohocken, PA: ASTM International. doi:10.1520/C0031_C0031M-23

ASTM. (2024). *ASTM C39/C39M-24. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.* West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM. (2024). *ASTMC109/C109M-24. Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading).* West Conshohocken, PA: ASTM International.

Bedoya, C., & Dzul, L. (Agosto de 2015). Hormigón con áridos reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana. *Revista Ing. constr, 30*(2). doi:10.4067/S0718-50732015000200002

Blanco, A., Pujadas, P., Fuente, A., & Aguado de Cea, A. (2010). Análisis comparativo de los modelos constitutivos del hormigón reforzado con fibras. *UPCommons, 61*(256), 83-101. doi:http://hdl.handle.net/2117/11260

Campoy, N., Chávez, O., Rojas, E., Gaxiola, J., Millán, J., & De la Rosa, D. (2021). Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros. *Ingeniería, investigación y tecnología, 22*(1), 3-14. doi:https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.1.007

Cerecer, J., & Elias, V. (2022). *Proceso de fabricación y composición química del cemento portland.* Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela de Ingeniería. Mazatlán: UAS. Obtenido de https://eim.uas.edu.mx/page/wp-

content/uploads/2023/07/PROCESO-DE-FABRICACION-Y-COMPOSICION-QUIMICA-DEL.pdf

Cobos, L., & Valle, A. (20 de Septiembre de 2021). Estudio comparativo sobre el comportamiento mecánico del concreto con fibra de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibra de acero. *Dominio de las ciencias, 7*(5), 798-818. doi:http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2283

Coronel, Y., & Risco, J. (2023). *Adicion de fibras de acero en la resistencia del concreto utilizado en la construccion de viviendas en la ciudad de Jaen, 2022.* Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ingenieria y arquitectura. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_a255144869e7d1fb31c363ad44fe2b3f/Details

Delgado, M., & Zamora, M. (2012). Influencia de la incorporación de fibras de acero recicladas en las propiedades mecánicas del hormigón. *Ingeniería civil*, 89-97.

Díaz-Kovalenko, I., Larrea-Rosas, K., & Barros-Naranjo, J. (2022). El sector de la contrucción en la economía ecuatoriana, importancia y perspectivas. *Revista Ciencias Sociales y Económicas UTEQ, 6*(2), 58-69. doi:10.18779/csye.v6i2.598

Escuela industrial superior. (2014). *Universidad nacional del Litoral.* Obtenido de https://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/1384/Ensayo_de_consistencia_de_hormig%C3%B3n_y_confecci%C3%B3n_de_probetas.pdf

Farfán, M., Pinedo, D., Araujo, J., & Orbegoso, J. (10 de Octubre de 2018). FIBRAS DE ACERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO. *Gaceta Técnica*, 1-10. doi:10.13140/RG.2.2.19787.95523

Farfán, M., Pinedo, D., Araujo, J., & Orbegoso, J. (10 de Octubre de 2018). FIBRAS DE ACERO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO. *Gaceta Técnica*, 1-10. doi:10.13140/RG.2.2.19787.95523

Franco, J., Cusme, C., & Stay, D. (2023). La gestión integral de residuos de construcción y demolición, un enfoque hacia la sostenibilidad de las ciudades. *South Florida, 4*(6), 2254-2277. doi:https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-004

Fundación musaat. (s.f.). *Fundación musaat*. Obtenido de https://fundacionmusaat.musaat.es/static/ebooks/EH-1/#zoom=true

Gallo, L., Gonzalez, G., & Carrillo, J. (23 de Mayo de 2013). Comportamiento del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306 sometido a esfuerzos de compresion. *Ciencia e Ingenieria Neogranadina*, 117-133. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91129721008

Gonzalez, J., & Roncancio, J. (2015). *Incidencia de los altos porcentajes de agregado PET en la resistencia a compresión del concreto.* Trabajo de titulación, Universidad La Gran Colombia, Facultad de Ingeniería civil, Bogota. Obtenido de https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/ad6c569e-9665-467c-84d7-ba7839c8a60b/content

Hernández, F., Jiménez, S., & Sánchez, J. (2021). Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción. *Tecnología en Marcha*, *34*(2), 3-10. doi:https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831

Hernández, S., & Cruz, M. (2010). Aplicación innovadora de materiales constructivos en arquitectura y edificación sustentables. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, *5*(7), 37-48. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477976544001

Hernández, S., & Cruz, M. (2010). Aplicación innovadora de materiales constructivos en arquitectura y edificiación sustentables. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, *5*(7), 37-48. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477976544001

Holcim. (9 de Enero de 2016). *Holcim Ecuador*. Obtenido de https://www.holcim.com.ec/concreto-ultra-series-fibra-de-acero

Huamán, M., Rodriguez, T., & Díaz, D. (1 de Julio de 2022). Comparación de propiedades físicas y mecánicas del hormigón tradicional y el hormigón reforzado con fibras metálicas recicladas. *Revista Gaceta Técnica, 2*(23), 23-37. doi:https://doi.org/10.51372/gacetatecnica232.3

Mármol, P. (11 de Octubre de 2010). *Hormigones con fibras de acero, características mecánicas.* Tesina de master, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería civil: Construcción, Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/4510/

McCormac, J., & Brown, R. (2017). *Design of reinforced concrete.* Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos: Wiley.

Medina, M., & Vargas, P. (2015). Estudio experimental del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras metálicas recicladas de neumáticos. *Revista Ingeniería de Construcción, 30*(2), 115-124. doi:10.4067/S0718-50732015000200002

Mendoza, J., & Vanga, M. (2020). Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador. *Revista San Gregorio*(43), 197-209. doi:https://doi.org/10.36097/rsan.v1i43.1116

Mittal, A. (18 de Febrero de 2009). *Wire solutions*. Obtenido de https://barsandrods.arcelormittal.com/wiresolutions/repository2/fanny/Shotcrete-SP.pdf

Moya, J., & Cando, L. (Octubre de 2018). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado. *UCE*, 7-16. Obtenido de https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/277d6f22-4652-4903-a467-2088ede964a0

Nilson, A. (2001). *Diseño de estructuras de concreto.* Berkeley, California, Estados Unidos: Mc Graw Hill.

Paricaguán, B. (2019). Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Revista INGENIERÍA UC, 26*(2), 202-212. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/707/70760276009/html/

Pozo, C. (Febrero de 2015). *Uso de fibras de acero en vigas de hormigón armado.* Trabajo de titulación, Universidad de especialidades Espiritu Santo, Samborondon. Obtenido de http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/552/1/Tesis%20Cristian%20Pozo%20C.pdf

Quintanilla, B., & Rea, C. (2015). *Análisis comparativo del módulo de rotura en vigas de hormigón simple y vigas reforzadas con fibra de carbono con una resistencia a la compresión de 28 MPa utilizando agregados del sector Guayllabamba y cemento Holcim tipo HE* . Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador, Quito. Obtenido de

https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6f403631-b58f-42b7-b147-bffcb443af48/content

Rocha, E. (2011). Construcciones sosyenibles: materiales, certificaciones y LCA. *Revista Nodo (UAN), 6*(11), 99-116. Obtenido de https://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/64/49

Rojales, S., Gomez, L., Farroñan, M., Chuzón, N., & Muñoz, S. (30 de Junio de 2021). Adiciones de fibras de acero para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión literaria. *Epistemia, 5*(1), 1-12. doi:https://doi.org/10.26495/re.v5i1.1838

Rojas, J. (2018). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón reforzado con fibras de acero en la ciudad de Azogues, provincia del Cañar.* Trabajo de titulación, Universidad Católica de Cuenca, Azogues. Obtenido de https://dspace.ucacue.edu.ec/items/4d5d628e-a18a-423e-80ad-4a9f8f426704

Romo, M. (2008). *Diseño de hormigón armado.* Sangolquí, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito.

Santillán, M. (2020). Concreto reforzado con fibras aporta beneficios a la construcción. *Ciencia UNAM*, 12-15. Obtenido de https://ciencia.unam.mx/leer/1069/concreto-reforzado-con-fibras-aporta-beneficios-a-la-construccion

Sanz, G., & Zanuy, C. (2017). Caracterización del comportamiento en flexión del hormigón reforzado con fibras sometido a impacto. *ScienceDirect, 68*(282), 139-145. doi:https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.04.003

Sarango, M., & Toapanta, W. (2022). *Efecto de fibras de acero en resistencia a compresión, flexión y módulo de elasticidad en hormigones simples de 21 MPA.* Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23005

Silva, L. (2014). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.* Trabajo de titulación, Universidad técnica de Ambato, Facultad de ingeniería civil y mecánica, Ambato. Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/items/45b7980d-aea3-48ea-846e-c794374abdb4

Universidad de Sonora. (2021). Universidad de Sonora, Sonora. Obtenido de http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7859/Capitulo1.pdf

Vásquez, M., Gonzabay, L., Vicuña, T., & Coello, G. (2024). Impacto de la Inversión Extranjera Directa (IED), en el Crecimiento Económico del Ecuador: una Revisión Sistemática. *Reincasol*, *3*(5), 767-792. doi:https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(5)767-792

Zerbino, R. (2020). El hormigón reforzado con fibras y sus proyecciones dentro de la industria de la construcción. *Revista de Ingeniería SEDICI*(153), 14-18. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/109925

Anexos

Probetas ensayadas