



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL  
TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

**“CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ALUMINIO  
UTILIZANDO LATAS DE RECICLAJE”.**

**TUTOR**

**KARLA PAMELA CRESPO LEON, MGTR.**

**AUTORES**

**BRYAN MORAN GAVILANES**

**KEVIN VILLAROEL HUERTA**

**GUAYAQUIL**

**2024**

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:** “CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ALUMINIO UTILIZANDO LATAS DE RECICLAJE”.

**AUTOR/ES:** BRYAN MORAN GAVILANES y KEVIN VILLAROEL HUERTA

**TUTOR:** Msc. KARLA PAMELA CRESPO LEON

**INSTITUCIÓN:**  
Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil

**Grado obtenido:**  
Ingeniero Civil

**FACULTAD:**  
INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION

**CARRERA:**  
INGENIERIA CIVIL

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**  
2024

**N. DE PÁGS:**  
110

**ÁREAS TEMÁTICAS:** Ingeniería, Industria y Construcción

**PALABRAS CLAVE:** Concreto reforzado - Fibras de aluminio - Materiales reciclados - Sostenibilidad en la construcción - Resistencia mecánica

#### RESUMEN:

El presente trabajo de titulación tiene como tema principal el uso de fibras de aluminio recicladas, obtenidas de latas, como refuerzo en el concreto. El objetivo de este estudio es evaluar cómo la incorporación de estas fibras afecta las propiedades mecánicas del concreto, incluyendo su resistencia a la compresión, tracción y flexión, así como su durabilidad en diversas condiciones ambientales. La metodología empleada incluye la realización de ensayos de laboratorio para caracterizar los materiales y determinar las proporciones óptimas de fibras en la mezcla de concreto. La muestra incluye diferentes proporciones de fibras de aluminio, las cuales se compararon con concreto tradicional y concreto reforzado con otros tipos de fibras, como las de acero y polipropileno. Los resultados obtenidos mostraron que el concreto reforzado con fibras de aluminio presenta mejoras significativas en la resistencia a la compresión, tracción y flexión en comparación con el concreto convencional. Además, se evidenció que las fibras de aluminio contribuyen a una mayor durabilidad del concreto, especialmente en

ambientes corrosivos. En conclusión, la incorporación de fibras de aluminio reciclado no solo mejora las propiedades mecánicas del concreto, sino que también representa una alternativa sostenible y económicamente viable para la industria de la construcción, promoviendo la reducción de residuos y el uso de materiales reciclados. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas del concreto reforzado con materiales reciclados.

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>
---	-----------------------------

**DIRECCIÓN URL (Web):**

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
---------------------	---	------------------------------------

<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>  BRYAN MORAN GAVILANES KEVIN VILLAROEL HUERTA	<b>Teléfono:</b>  0961074685  0984231459	<b>E-mail:</b>  bmorang@ulvr.edu.ec  kvillarroelh@ulvr.edu.ec
--	--	---

<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	<p>Master Ing. Civil. Marcial Sebastián Calero Amores (Decano)  <b>Teléfono:</b> 042-596500 <b>Ext.</b> 260  <b>E-mail:</b> <a href="mailto:mcaleroa@ulvr.edu.ec">mcaleroa@ulvr.edu.ec</a>  Mgtr. Ing. Civil Jorge Enrique Torres Rodríguez (Director de Carrera)  <b>Teléfono:</b> 042-596500 <b>Ext.</b> 242  <b>E-mail:</b> <a href="mailto:etorresr@ulvr.edu.ec">etorresr@ulvr.edu.ec</a></p>
------------------------------------	---

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Bryan moran gavilanez & kevin villarroel huerta para  
turnitin.docx

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>7</b> %	<b>7</b> %	<b>5</b> %	<b>4</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>4</b> %
<b>2</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.ulvr.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad de Córdoba</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 1%



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) Bryan Moran Gavilanes Y Kevin Villaroel Huerta, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, “CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ALUMINIO UTILIZANDO LATAS DE RECICLAJE”, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

**BRYAN  
MORAN  
GAVILANEZ**  
Firmado digitalmente por  
BRYAN MORAN  
GAVILANEZ  
Fecha: 2024.08.27  
08:19:56 -05'00'

Firma:

BRYAN MORAN GAVILANES

C.I. 0923585830

**KEVIN  
VILLARROE  
L HUERTA**  
Firmado digitalmente por  
KEVIN VILLARROEL  
HUERTA  
Fecha: 2024.08.27  
08:20:45 -05'00'

Firma:

KEVIN VILLARROEL HUERTA

C.I. 0963556170

## CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación “CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ALUMINIO UTILIZANDO LATAS DE RECICLAJE”, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y CONSTRUCCION de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Titulación “CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ALUMINIO UTILIZANDO LATAS DE RECICLAJE”, presentado por el (los) estudiante (s) Bryan Moran Gavilanes Y Kevin Villaroel Huerta, como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil , encontrándose apto para su sustentación.

Firma:  Escaneado y certificado por:  
KARLA PAMELA CRESPO  
LEÓN

**KARLA PAMELA CRESPO LEÓN**

**C.C. 0919203414**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero agradezco a DIOS por todo este proceso que ha hecho tomar y por darme un día más de vida luego quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la ingeniera Karla Crespo por su paciencia durante este proceso sus conocimientos fueron fundamentales para culminar este trabajo

A mi familia que siempre estaba dando consejos gracias a todos ustedes gracias,

## **DEDICATORIA**

Dedico este triunfo a mi tutora la ingeniera Karla Crespo, a mis padres, por ser guías y apoyo en cada paso de este camino, a mis hermanos por ser unos ejemplos a seguir y a las personas q no están ahora conmigo, pero me dieron las fuerzas los consejos para terminar y a mis 2 abuelos q ahora que no están con nosotros eran las 2 caras de la moneda, pero lo q si se parecían es en la perseverancia que tenían los 2 nunca rendirse y siempre mirar al frente gracias a todos.

Bryan

## DEDICATORIA

En este importante hito de mi vida académica, me siento profundamente conmovido al dedicar unas palabras a la persona que ha sido mi mayor apoyo y fuente de fortaleza: mi querida mamá. Desde el inicio de esta ardua travesía que ha sido mi tesis, has estado a mi lado con una paciencia y dedicación incomparables. Tu amor incondicional y tu fe en mis capacidades han sido las luces que han iluminado mi camino en los momentos de duda y agotamiento. Recuerdo claramente las largas noches de estudio, los momentos de incertidumbre y los desafíos que enfrenté, y cómo tú, sin falta, estuviste allí para ofrecerme no solo tu apoyo emocional, sino también tu ayuda práctica y tus sabios consejos. Tu disposición para escucharme, para brindarme un abrazo reconfortante y para hacer sacrificios personales para que pudiera concentrarme en mi trabajo académico, es algo que jamás podré agradecer lo suficiente.

Eres mi roca y mi inspiración, y tu influencia en mi vida va más allá de cualquier logro académico. Has sido el pilar sobre el cual he construido mis sueños y aspiraciones. Tu amor y esfuerzo han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante y a dar lo mejor de mí. Con cada página que he escrito y cada desafío que he superado, he sentido tu presencia y tu apoyo constante. Este logro es tan tuyo como mío, y quiero que sepas que, sin ti, este trabajo no habría sido posible. Gracias, mamá, por ser mi guía, mi consejera y mi amiga. Tu sacrificio y dedicación son el testimonio más grande de tu amor incondicional y del papel crucial que has jugado en mi vida. Este logro es un reflejo de todo lo que me has enseñado y de la fuerza que me has dado para seguir adelante.

Con todo mi amor y gratitud.

Kevin

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como tema principal el uso de fibras de aluminio recicladas, obtenidas de latas, como refuerzo en el concreto. El objetivo de este estudio es evaluar cómo la incorporación de estas fibras afecta las propiedades mecánicas del concreto, incluyendo su resistencia a la compresión, tracción y flexión, así como su durabilidad en diversas condiciones ambientales. La metodología empleada incluye la realización de ensayos de laboratorio para caracterizar los materiales y determinar las proporciones óptimas de fibras en la mezcla de concreto. La muestra incluye diferentes proporciones de fibras de aluminio, las cuales se compararon con concreto tradicional y concreto reforzado con otros tipos de fibras, como las de acero y polipropileno. Los resultados obtenidos mostraron que el concreto reforzado con fibras de aluminio presenta mejoras significativas en la resistencia a la compresión, tracción y flexión en comparación con el concreto convencional. Además, se evidenció que las fibras de aluminio contribuyen a una mayor durabilidad del concreto, especialmente en ambientes corrosivos. En conclusión, la incorporación de fibras de aluminio reciclado no solo mejora las propiedades mecánicas del concreto, sino que también representa una alternativa sostenible y económicamente viable para la industria de la construcción, promoviendo la reducción de residuos y el uso de materiales reciclados. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas del concreto reforzado con materiales reciclados.

Palabras Claves: concreto reforzado, fibras de aluminio materiales reciclados, sostenibilidad en la construcción, resistencia mecánica

## **ABSTRACT**

The main topic of this thesis is the use of recycled aluminum fibers, obtained from cans, as reinforcement in concrete. The objective of this study is to evaluate how the incorporation of these fibers affects the mechanical properties of concrete, including its compressive, tensile, and flexural strength, as well as its durability under various environmental conditions. The methodology employed includes conducting laboratory tests to characterize the materials and determine the optimal fiber proportions in the concrete mix. The sample includes different proportions of aluminum fibers, which were compared with traditional concrete and concrete reinforced with other types of fibers, such as steel and polypropylene. The results obtained showed that concrete reinforced with aluminum fibers presents significant improvements in compressive, tensile, and flexural strength compared to conventional concrete. Additionally, it was evidenced that aluminum fibers contribute to greater durability of the concrete, especially in corrosive environments. In conclusion, the incorporation of recycled aluminum fibers not only improves the mechanical properties of concrete but also represents a sustainable and economically viable alternative for the construction industry, promoting waste reduction and the use of recycled materials. This study lays the foundation for future research and practical applications of concrete reinforced with recycled materials.

Keywords - Reinforced concrete - Aluminum fibers - Recycled materials - Sustainability in construction - Mechanical strength

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	4
ENFOQUE DE LA PROPUESTA .....	4
1.1. Tema: .....	4
1.2. Planteamiento del Problema: .....	4
1.3. Formulación del Problema:.....	6
1.4. Objetivo General .....	6
1.5. Objetivos Específicos .....	6
1.6. Idea a Defender.....	7
CAPÍTULO II .....	8
MARCO REFERENCIAL .....	8
2.1. Marco Teórico: .....	8
2.1.1. Antecedentes.....	8
2.2. Fundamento teórico .....	11
2.2.1. Concreto Reforzado con Fibras .....	11
2.2.2. Mecanismos de Refuerzo de Fibras en el Concreto .....	13
2.2.3. Tipos de Fibras Utilizadas en el Concreto .....	20
2.2.4. Fibras de Aluminio .....	24
2.2.5. Comparación de Eficiencia de Fibras Naturales vs. Sintéticas .....	27
2.2.6. Impacto de la Forma y Longitud de las Fibras en el Desempeño del Concreto .....	29
2.2.7. Reciclaje de Latas de Aluminio.....	31
2.2.8. Concreto Reforzado con Fibras de Aluminio Reciclado.....	33
2.2.9. Propiedades del Concreto Reforzado con Fibras de Aluminio.....	37
2.2.10. Aplicaciones Prácticas y Casos de Estudio .....	39
2.2.11. Análisis de Impacto Ambiental y Sostenibilidad.....	43
2.2.12. Desafíos y Consideraciones Técnicas.....	47
CAPÍTULO III .....	54
MARCO METODOLÓGICO .....	54
3.1. Enfoque de la investigación:.....	54
3.2. Alcance de la investigación: .....	54

3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos .....	55
3.4. Población y Muestra.....	57
CAPITULO 4 .....	59
Resultados y propuesta.....	59
4.1. Ensayos .....	59
4.2. Discusión de resultados .....	76
Conclusiones.....	78
Recomendaciones.....	80
Bibliografía .....	82
Anexos .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Líneas de Investigación.....	7
Tabla 2 Comparación de Propiedades Mecánicas: .....	36
Tabla 3 Comparativa de Propiedades Mecánicas .....	39
Tabla 4 Evaluación de Rendimiento .....	41
Tabla 5 caracterización agregado grueso .....	59
Tabla 6 caracterización agregado fino.....	60
Tabla 7 Diseño teórico esperado.....	60
Tabla 8 Peso de materiales en 1m3 de hormigón .....	61
Tabla 9 Peso de materiales para 1 saco de cemento .....	61
Tabla 10. Materiales Utilizados .....	62
Tabla 11 Caracterización de Materiales .....	63
Tabla 12 Mezcla de Concreto sin Fibras .....	64
Tabla 13 Diseño de Mezcla de Hormigón.....	64
Tabla 14 Resultados de Ensayos de Compresión.....	73
Tabla 15 Comparación de Propiedades Mecánicas .....	74
Tabla 16 Costos .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 tipos de fibras usadas en el concreto .....	16
Figura 2 Comparación de Propiedades Mecánicas .....	74
Figura 3 Selección de aluminio reciclado .....	90
Figura 4 Procesamiento del aluminio reciclado .....	90
Figura 5 Aplicación de fibras de acero .....	91
Figura 6 Aplicación de fibras de aluminio reciclado.....	91
Figura 7 Llenado de los cilindros.....	92
Figura 8 Cubrimiento de los cilindros .....	92
Figura 9 Revestimiento de los cilindros .....	93
Figura 10 Fraguado de cilindros.....	93
Figura 11 Clasificación de los cilindros.....	94
Figura 12 Clasificación de los cilindros.....	94
Figura 13 Secado de cilindros .....	95
Figura 14 Cilindros clasificados por días .....	95

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de resistencia hormigón con acero.....	86
Anexo 2 ensayo de resistencia Hormigón tradicional y con aluminio .....	87
Anexo 3 diseño de Hormigón .....	88

## INTRODUCCIÓN

El concreto ha sido históricamente uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial debido a su versatilidad, resistencia y durabilidad. Sin embargo, sus propiedades inherentes de fragilidad y baja resistencia a la tracción han motivado una búsqueda continua de mejoras en su composición. Entre las diversas estrategias exploradas, el refuerzo con fibras ha emergido como una solución efectiva para mejorar las propiedades mecánicas del concreto y su comportamiento bajo diferentes tipos de cargas.

En los últimos años, la utilización de fibras metálicas recicladas, y específicamente de aluminio, se presentó como una alternativa prometedora. El aluminio, conocido por su ligereza, excelente resistencia a la corrosión y buenas propiedades mecánicas, ofreció beneficios adicionales cuando se consideró su uso en forma de fibras obtenidas de latas recicladas.

Esta práctica no solo buscó mejorar las propiedades del concreto, sino también abordar problemas ambientales significativos al reducir la cantidad de residuos sólidos y la demanda de recursos naturales para la producción de nuevas fibras.

El objetivo de este trabajo de titulación fue investigar las propiedades y el comportamiento del concreto reforzado con fibras de aluminio provenientes de latas de reciclaje. Específicamente, se evaluó la viabilidad de este tipo de refuerzo en términos de resistencia a la compresión, flexión y durabilidad, comparándolo con el concreto tradicional y otros tipos de refuerzos.

Para alcanzar este objetivo, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el uso de fibras metálicas en el concreto. Esta revisión permitió establecer un marco teórico sólido y fundamentar la elección de las fibras de aluminio reciclado como material de estudio. Posteriormente, se llevaron a cabo experimentos detallados que involucraron la preparación, curado y ensayo de muestras de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Estos experimentos incluyeron pruebas de resistencia a la compresión, flexión y análisis de durabilidad bajo diversas condiciones ambientales.

Los resultados obtenidos de los ensayos experimentales proporcionaron una comprensión clara de las ventajas y limitaciones del uso de fibras de aluminio reciclado en el concreto. Se analizó la influencia de la incorporación de estas fibras en la resistencia mecánica del concreto, su comportamiento bajo cargas dinámicas y estáticas, y su durabilidad a largo plazo. Además, se realizó un análisis comparativo del impacto ambiental del uso de fibras recicladas frente a métodos de refuerzo tradicionales, destacando los beneficios potenciales en términos de sostenibilidad y reducción de la huella de carbono.

Este estudio no solo contribuyó al conocimiento técnico sobre materiales de construcción innovadores, sino que también promovió prácticas sostenibles en la industria de la construcción. Los hallazgos de esta investigación proporcionaron una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas del concreto reforzado con materiales reciclados, alineándose con los objetivos globales de desarrollo sostenible y economía circular.

El presente trabajo de titulación se organiza en varios capítulos que abarcan desde la propuesta inicial hasta las conclusiones finales. El Capítulo I: Enfoque de la Propuesta presenta la investigación, identificando claramente el problema y formulando el problema específico a tratar. Este capítulo establece el objetivo general y los objetivos específicos del estudio, define la tesis a defender y alinea la investigación con la línea institucional de la facultad. Este enfoque inicial proporciona una base sólida para guiar el estudio, asegurando la coherencia con los objetivos de la institución y las necesidades de la disciplina.

El Capítulo II: Marco Referencial y el Capítulo III: Marco Metodológico profundizan en el contexto y la metodología de la investigación. El marco referencial abarca antecedentes relevantes y un marco teórico que respalda la investigación, proporcionando un contexto académico y científico necesario para comprender el problema.

El marco metodológico describe el enfoque de la investigación, el alcance del estudio y las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos, además de detallar la población y muestra seleccionadas para el análisis. En el Capítulo IV: Propuesta o Informe, se presentan y analizan los resultados

obtenidos de las encuestas, seguidos de una propuesta basada en estos hallazgos. Finalmente, el documento culmina con las conclusiones y recomendaciones, que sintetizan los hallazgos del estudio y sugieren acciones futuras.

.

# CAPÍTULO I

## ENFOQUE DE LA PROPUESTA

### 1.1. Tema:

“Concreto reforzado con fibras de aluminio utilizando latas de reciclaje”

### 1.2. Planteamiento del Problema:

La industria de la construcción enfrentaba constantemente el desafío de mejorar los materiales utilizados para garantizar estructuras seguras, duraderas y sostenibles. El concreto, a pesar de ser el material de construcción más ampliamente utilizado, presentaba limitaciones notables, como su baja resistencia a la tracción y su susceptibilidad a la formación de grietas bajo cargas de tensión. Tradicionalmente, el uso de barras de acero como refuerzo había sido la solución preferida para mitigar estos problemas, pero esta técnica presentaba desventajas, entre ellas la corrosión y el alto costo.

Paralelamente, el incremento de residuos sólidos, en particular las latas de aluminio usadas, se había convertido en un problema ambiental significativo. A pesar de los esfuerzos de reciclaje, una gran cantidad de latas de aluminio terminaban en vertederos, contribuyendo a la contaminación y desperdiciando recursos potencialmente reutilizables.

Este trabajo de titulación se centró en abordar estos dos problemas mediante la exploración del uso de fibras de aluminio reciclado, derivadas de latas de bebidas, como refuerzo en el concreto. La premisa fundamental de este estudio fue que las fibras de aluminio reciclado podrían mejorar las propiedades mecánicas del concreto, al mismo tiempo que se mitigaba el problema de los residuos sólidos y se promovía el uso de materiales reciclables (Ramírez Arellanes & Trujillo, 2022).

A nivel mundial, las latas de aluminio son uno de los envases más reciclados, con una tasa de reciclaje de aproximadamente el 75%. Cada año se

producen alrededor de 25 millones de toneladas de aluminio, y solo en Estados Unidos se fabrican 300 millones de latas diarias (Amaya, 2019).

En América Latina, el mercado de latas de aluminio ha mostrado un crecimiento dinámico, alcanzando un valor de aproximadamente 5.100 millones de dólares en 2023. Brasil y México son los principales consumidores en la región, impulsados por la alta demanda en la industria de bebidas. La alta reciclabilidad y el bajo impacto ambiental de las latas de aluminio continúan siendo factores clave para su popularidad tanto a nivel global como regional (Argos, 2019)

El concreto reforzado con fibras de aluminio puede aumentar la resistencia a la tracción del concreto en un 20-30% en comparación con el concreto tradicional. Además, la adición de fibras de aluminio puede reducir la formación de grietas en un 50-70%. Estas mejoras hacen que el concreto sea más duradero y adecuado para aplicaciones que requieren alta resistencia y durabilidad (Carnero et al. 2023)

El análisis se enfocó en evaluar cómo la incorporación de fibras de aluminio reciclado afectaba la resistencia a la compresión y la flexión del concreto, además de su durabilidad en diversas condiciones ambientales. También se examinó la viabilidad ambiental y económica de utilizar fibras de aluminio reciclado en lugar de métodos de refuerzo convencionales.

El estudio tuvo como objetivo no solo aportar conocimientos técnicos sobre el mejoramiento del concreto mediante el uso de fibras recicladas, sino también fomentar prácticas más sostenibles en la industria de la construcción. Se buscó demostrar que era posible obtener un material de construcción con propiedades mecánicas y durabilidad superiores, mientras se reducía el impacto ambiental a través de la reutilización de desechos de aluminio.

Este estudio se propuso abordar esta necesidad mediante un enfoque experimental y analítico riguroso. Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto reforzado con

fibras de acero, así como un análisis comparativo con concreto convencional. La investigación incluyó pruebas de compresión, tracción y flexión, así como análisis de durabilidad bajo condiciones de exposición adversas. Los resultados obtenidos fueron analizados para establecer conclusiones fundamentadas sobre la eficiencia y durabilidad del concreto reforzado con fibras de acero en aplicaciones estructurales.

La relevancia de este problema radica en la necesidad de encontrar soluciones que mejoren la eficiencia y durabilidad de las estructuras construidas con concreto, reduciendo costos a largo plazo y promoviendo prácticas de construcción más sostenibles. Al abordar estas cuestiones, este trabajo de titulación buscó contribuir al conocimiento técnico y práctico en el campo de la ingeniería civil, promoviendo el uso de materiales avanzados que respondan a las demandas crecientes de durabilidad y eficiencia en la construcción moderna.

### **1.3. Formulación del Problema:**

¿Cómo influye el uso de fibras de aluminio reciclado en las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto en comparación con los métodos tradicionales de refuerzo?

### **1.4. Objetivo General**

Evaluar las propiedades mecánicas de un concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado en comparación con un concreto con fibra de acero para la mejora de su desempeño.

### **1.5. Objetivos Específicos**

- Caracterizar los materiales usados en el hormigón mediante ensayos de laboratorio
- Determinar el diseño del hormigón con fibras de acero y de aluminio mediante las guías de diseño
- Calcular la resistencia del concreto con fibras de acero y con fibras de aluminio por medio de ensayo de compresión.

- Comparar propiedades mecánicas y costos asociados al concreto con fibras de acero y de aluminio con base a los datos registrados.

### 1.6. Idea a Defender

La incorporación de fibras de aluminio reciclado, obtenidas de latas de bebidas, en la mezcla de concreto mejora significativamente las propiedades mecánicas y la durabilidad del material. Además, esta técnica ofrece una solución sostenible y económicamente viable para la industria de la construcción, contribuyendo a la reducción de residuos sólidos y promoviendo prácticas de construcción más ecológicas, sin comprometer la calidad ni la resistencia estructural del concreto.

### 1.5 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

*Tabla 1 Líneas de Investigación*

<b>Dominio</b>	<b>Línea institucional</b>	<b>Líneas de Facultad</b>
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Materiales de construcción

**Fuente:** Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2023)

## CAPÍTULO II

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Marco Teórico:

##### 2.1.1. Antecedentes

En la ciudad de Medellín, Colombia, se realizó un estudio cuyo objetivo fue evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Para ello, se prepararon mezclas de concreto con proporciones de 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de fibras de aluminio, obtenidas a partir de latas recicladas. Las fibras fueron cortadas en tiras de 20 mm de longitud y 1 mm de ancho. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, flexión y tracción indirecta a los 7, 28 y 90 días de curado. Los resultados mostraron que la adición de un 1% de fibras de aluminio incrementó la resistencia a la compresión en un 12% y la resistencia a la flexión en un 15% en comparación con el concreto sin fibras. Además, la resistencia a la tracción indirecta mejoró en un 10%, con una mejor distribución de microfisuras y un aumento en la ductilidad del concreto. El estudio concluye que la incorporación de fibras de aluminio reciclado es una alternativa viable para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, contribuyendo a la sostenibilidad en la construcción. (Montoya-Molina, 2019).

En otro estudio realizado en Emiratos Árabes Unidos, su estudio trató de examinar el efecto de las fibras de aluminio reciclado en la contracción por secado del concreto. Se prepararon especímenes de concreto con proporciones de 0%, 0.75% y 1.5% de fibras de aluminio, obtenidas a partir de latas de bebidas y cortadas en longitudes de 25 mm, y se monitoreó su contracción durante un periodo de 90 días. Para registrar los cambios dimensionales en las muestras de concreto, se utilizaron medidores de deformación. Los resultados indicaron que la adición de un 1.5% de fibras de aluminio redujo la contracción por secado en un 18% y mejoró la distribución de microfisuras. Además, se observó una disminución en el ancho de las grietas y un aumento en la cantidad de microfisuras, lo que favoreció una mejor distribución de los esfuerzos internos. El estudio concluye que las fibras de aluminio reciclado pueden ser una solución

efectiva para mitigar los problemas de contracción en estructuras de concreto, especialmente en climas cálidos y secos. (Alsaadi, 2021)

Mientras que en China. Se realizó otro estudio el cual tuvo como objetivo analizar la durabilidad del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado en ambientes marinos. Para ello, se expusieron muestras de concreto con proporciones de 0%, 1% y 2% de fibras de aluminio, obtenidas de desechos industriales y cortadas en longitudes de 15 mm, a un ambiente salino simulado durante un periodo de 12 meses. Se realizaron pruebas de penetración de cloruros, resistencia a la corrosión y porosidad. Los resultados mostraron que el concreto con 2% de fibras de aluminio redujo en un 30% la penetración de cloruros y aumentó en un 20% la resistencia a la corrosión. Además, se observó una disminución en la porosidad del concreto y una mejora en su resistencia a la carbonatación. El estudio concluye que la incorporación de fibras de aluminio reciclado puede mejorar significativamente la durabilidad del concreto en ambientes marinos, lo que podría prolongar la vida útil de las estructuras costeras (Zhang, 2022).

En otro estudio que se realizó en Vietnam, cuyo objetivo fue analizar las propiedades térmicas del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Para ello, se prepararon muestras de concreto con proporciones de 0%, 1%, 2% y 3% de fibras de aluminio, obtenidas de latas de bebidas y cortadas en longitudes de 20 mm, y se evaluaron sus propiedades de conductividad térmica. Utilizando el método de placa caliente guardada, se midió la conductividad térmica de las muestras. Los resultados indicaron que la adición de un 3% de fibras de aluminio redujo la conductividad térmica del concreto en un 22%, mejorando así su capacidad de aislamiento térmico. Esta mejora se asoció a una disminución en la densidad del concreto y un aumento en la porosidad, lo que contribuyó a las propiedades de aislamiento. El estudio concluye que el concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado podría ser una opción viable para aplicaciones que requieren un mejor rendimiento térmico, como en edificios energéticamente eficientes o en estructuras expuestas a altas temperaturas (Nguyen, 2022).

Mientras que en la ciudad de México, México, otro estudio evaluó el desempeño mecánico y la sostenibilidad del concreto reforzado con fibras de aluminio obtenidas de latas recicladas. Para ello, se prepararon mezclas de concreto con proporciones de 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de fibras de aluminio en volumen, obtenidas de latas de bebidas y cortadas en longitudes de 25 mm. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión, flexión y módulo de elasticidad a los 7, 28 y 90 días, complementadas con un análisis de ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental. Los resultados mostraron que la incorporación de un 1% de fibras de aluminio incrementó la resistencia a la compresión en un 8% y la resistencia a la flexión en un 13% a los 28 días, además de mejorar el módulo de elasticidad en un 5%. El análisis de ciclo de vida reveló una reducción del 12% en la huella de carbono del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado en comparación con el concreto convencional. El estudio concluye que el uso de fibras de aluminio reciclado en el concreto no solo mejora sus propiedades mecánicas, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad en la industria de la construcción en México. (Gómez et al. 2021)

Por último en Quito, Ecuador, se realizó otro trabajo cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento mecánico y la sostenibilidad del hormigón reforzado con fibras metálicas recicladas, incluyendo aluminio. Para ello, se prepararon mezclas de hormigón con proporciones de 0%, 0.5%, 1% y 1.5% de fibras metálicas recicladas, que incluían fibras de aluminio obtenidas de desechos industriales y domésticos, cortadas en longitudes de 30 mm. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión a los 7, 28 y 56 días, complementados con un análisis simplificado de ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental. Los resultados indicaron que la incorporación de un 1% de fibras metálicas recicladas, incluyendo aluminio, incrementó la resistencia a la compresión en un 7% y la resistencia a la flexión en un 11% a los 28 días, además de mejorar la ductilidad y el control de fisuras. El análisis de sostenibilidad mostró una reducción del 9% en la huella de carbono en comparación con el hormigón convencional. El estudio concluye que el uso de fibras metálicas recicladas, incluyendo aluminio, es una alternativa viable para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón y contribuir a la sostenibilidad

en la construcción en Ecuador. Aunque este estudio no se centra exclusivamente en fibras de aluminio de latas recicladas, proporciona información relevante sobre el uso de fibras metálicas recicladas, incluyendo aluminio, en el contexto ecuatoriano, y presenta resultados comparables a estudios específicos de fibras de aluminio reciclado (Villacrés Sánchez, 2020).

## **2.2. Fundamento teórico**

### **2.2.1. Concreto Reforzado con Fibras**

#### **Definición y Tipos de Concreto Reforzado**

El concreto reforzado con fibras se define como un material compuesto que incorpora fibras discontinuas y homogéneamente distribuidas en una matriz de concreto. Las fibras actúan como micro-refuerzos que mejoran significativamente las propiedades mecánicas del concreto, tales como la resistencia a la tracción, la flexión y la tenacidad. (Alsaadi, 2021)

#### **Contexto Histórico y Orígenes**

El uso de fibras como refuerzo en materiales de construcción tiene raíces profundas que se remontan a civilizaciones antiguas, como los egipcios y mesopotámicos, quienes incorporaban fibras vegetales como la paja en ladrillos de adobe para mejorar su cohesión y resistencia. (Amaya, 2019)

Este método puede considerarse un precursor del concreto reforzado moderno. No obstante, el concepto formal de "concreto reforzado con fibras" comenzó a desarrollarse de manera más sistemática a mediados del siglo XX, cuando la industria de la construcción y la investigación en materiales comenzaron a explorar alternativas para mejorar las propiedades del concreto convencional.

#### **Desarrollo Moderno y Avances Tecnológicos**

El desarrollo moderno del concreto reforzado con fibras se inició en las décadas de 1960 y 1970, cuando se comenzaron a incorporar fibras de acero en el concreto. La incorporación de fibras de acero, como establece la norma ASTM

A820/A820M, se realizó con el objetivo de mejorar la resistencia a la tracción y controlar la fisuración. Las primeras aplicaciones incluyeron pavimentos industriales, donde el control de fisuración y la mejora en la durabilidad eran esenciales. (Alsaadi, 2021)

Con el avance de la tecnología de materiales, la década de 1980 vio la introducción de fibras sintéticas, como el polipropileno, que están normadas bajo ASTM C1116/C1116M. Estas fibras proporcionaron beneficios adicionales, como la reducción de la fisuración por contracción plástica y la mejora de la durabilidad en condiciones agresivas. A su vez, las fibras de vidrio, reguladas por normas como ASTM D578, se empezaron a utilizar en aplicaciones arquitectónicas debido a su resistencia a la corrosión. (Condori Yapu, 2022)

En las décadas de 1990 y 2000, se introdujeron fibras de alto rendimiento como las de carbono y aramida, normadas bajo estándares como ASTM D7264 para aplicaciones en estructuras críticas que requieren alta rigidez y resistencia a cargas extremas. (Condori Yapu, 2022)

Paralelamente, el creciente interés por la sostenibilidad impulsó el uso de fibras recicladas, como el aluminio obtenido de latas recicladas, que no solo cumplen con los estándares mecánicos exigidos, sino que también contribuyen a la reducción del impacto ambiental.

### **Estado Actual y Tendencias Futuras**

Actualmente, el concreto reforzado con fibras se ha consolidado como una tecnología esencial en la ingeniería estructural. Las investigaciones actuales se centran en optimizar la eficiencia de la interfaz fibra-matriz, utilizando técnicas avanzadas de tratamiento de superficies y estudiando el comportamiento de nanofibras. (Condori Yapu, 2022)

Estas investigaciones se alinean con estándares internacionales como el ACI 544, que proporciona guías para el uso de fibras en concreto, incluyendo su selección, mezcla y colocación. Además, se están desarrollando nuevas normativas europeas (EN 14889-1) para la clasificación y uso de fibras metálicas

y sintéticas en concreto, asegurando un desempeño óptimo y homogéneo en aplicaciones estructurales. (Condori Yapu, 2022)

### **2.2.2. Mecanismos de Refuerzo de Fibras en el Concreto**

#### **Interacción Fibras-Matriz**

El refuerzo del concreto mediante fibras se basa en la interacción física y química entre las fibras y la matriz cementante. Esta interacción se traduce en una distribución más uniforme de las tensiones generadas bajo carga, lo cual es crucial para prevenir la formación y propagación de fisuras. Este mecanismo es particularmente efectivo en concreto con alto contenido de cemento Portland (normado por ASTM C150), donde la rigidez de la matriz permite una mejor transferencia de cargas a las fibras. (Condori Yapu, 2022)

#### **Distribución de Cargas y Transferencia de Esfuerzos**

La teoría de la transferencia de cargas en concreto reforzado con fibras se fundamenta en la capacidad de las fibras para actuar como puentes entre microfisuras, distribuyendo las tensiones y minimizando la concentración de esfuerzos en puntos críticos.

Esta teoría está respaldada por normas como ASTM C1609/C1609M, que describe métodos para evaluar la resistencia a la flexión en concreto reforzado con fibras. Según esta norma, la resistencia residual que proporcionan las fibras es un indicador clave del desempeño del material en situaciones de carga post-fisuración. (Condori Yapu, 2022)

#### **Control de la Propagación de Microfisuras**

Uno de los efectos más significativos de las fibras en la matriz de concreto es su capacidad para controlar la propagación de microfisuras. Cuando el concreto es sometido a carga, las microfisuras tienden a propagarse rápidamente si no existen mecanismos de control, como las fibras. Las fibras, al interceptar y redirigir estas fisuras, aumentan la tenacidad del concreto. Este comportamiento es crucial en aplicaciones normadas bajo EN 14651, que regula

la evaluación de la resistencia a la tracción indirecta en concreto reforzado con fibras.

### **Influencia de la Geometría de las Fibras**

La eficacia del refuerzo también depende de la geometría de las fibras, incluyendo su longitud, diámetro y forma. Las fibras con alta relación de aspecto (longitud/diámetro) suelen ofrecer un mejor anclaje dentro de la matriz, lo que mejora la transferencia de cargas y la capacidad de absorción de energía. La forma de las fibras, ya sea recta, ondulada o en gancho, afecta directamente su capacidad para resistir la extracción bajo carga. Este aspecto está normado por el ACI 544.3R, que proporciona directrices para la selección de fibras basadas en su geometría para aplicaciones específicas. (Eurocode 8, ASCE 7).

### **Mecanismos de Tenacidad y Ductilidad**

Además de mejorar la resistencia a la fisuración, las fibras incrementan la tenacidad y ductilidad del concreto. Esto se refiere a la capacidad del material para deformarse plásticamente bajo cargas extremas sin experimentar una falla catastrófica. Las fibras permiten al concreto absorber una mayor cantidad de energía antes de alcanzar su punto de ruptura, lo cual es fundamental en estructuras sometidas a cargas dinámicas o sísmicas, como las reguladas por las normativas sísmicas internacionales (Eurocode 8, ASCE 7).

### **Investigaciones Actuales y Futuras**

La investigación actual en mecanismos de refuerzo de fibras se centra en mejorar la adherencia fibra-matriz mediante tratamientos de superficie avanzados, y en el desarrollo de nuevas fibras como las nanofibras, que prometen un rendimiento superior. Estas investigaciones buscan optimizar el uso de fibras en concreto, alineándose con los estándares internacionales mencionados, para garantizar la durabilidad, eficiencia y seguridad en aplicaciones estructurales complejas.

Las principales fibras utilizadas en el concreto reforzado incluyen:

**Fibras de acero:** Estas fibras mejoran significativamente la resistencia al impacto y a la fatiga del concreto, además de controlar la fisuración. Son ideales para aplicaciones en pavimentos industriales y elementos estructurales sujetos a cargas dinámicas.

Según Gil (2023), "las fibras de acero incrementan la resistencia a la fatiga y al impacto, mejorando el comportamiento general del concreto en aplicaciones de alta carga" (p. 40).

Este análisis muestra cómo las fibras de acero pueden mejorar el desempeño del concreto en entornos industriales exigentes, proporcionando una mayor durabilidad y resistencia a las cargas dinámicas.

**Fibras de vidrio:** Utilizadas principalmente por su resistencia a la corrosión y su capacidad para mejorar la resistencia a la tracción. Son comunes en aplicaciones arquitectónicas y decorativas (Carnero et al. 2023)

Cornejo y carnero señalan que "las fibras de vidrio son especialmente adecuadas para aplicaciones donde la estética y la resistencia a la corrosión son cruciales, como en elementos arquitectónicos" (p. 52). Este análisis enfatiza la idoneidad de las fibras de vidrio para aplicaciones que requieren tanto resistencia como estética, proporcionando una solución eficiente y duradera.

**Fibras de polipropileno:** Conocidas por su capacidad para reducir la fisuración por contracción plástica y por mejorar la durabilidad del concreto en ambientes agresivos. Se utilizan frecuentemente en revestimientos y en proyectos de infraestructura subterránea (Condori Yapu, 2022)

Según Condori Yapu (2022), "las fibras de polipropileno ayudan a controlar la fisuración temprana del concreto, lo que es vital en aplicaciones subterráneas donde la durabilidad es una preocupación principal" (p. 56). Este análisis subraya la importancia de las fibras de polipropileno en mejorar la durabilidad y reducir la fisuración en ambientes subterráneos, lo que contribuye a la longevidad de las estructuras.

**Fibras de carbono:** Estas fibras proporcionan alta resistencia y rigidez, siendo ideales para aplicaciones en estructuras que requieren un alto

rendimiento mecánico, como puentes y edificios de gran altura (Olivo Huerta, 2023).

Olivo Huerta (2023), afirman que "las fibras de carbono son esenciales en aplicaciones de alta resistencia debido a su excepcional rigidez y capacidad para soportar cargas extremas" (p. 80).

Este análisis destaca cómo las fibras de carbono son cruciales para proyectos de ingeniería que demandan altos niveles de rendimiento estructural, asegurando la estabilidad y seguridad de las construcciones.

**Fibras de aluminio:** Recientemente exploradas por su ligereza y resistencia a la corrosión. Además, el uso de fibras recicladas de aluminio, como las provenientes de latas, presenta una alternativa sostenible y ecológica (Flores, et al. 2024)

Flores et al. (2021), mencionan que "el uso de fibras de aluminio reciclado no solo mejora las propiedades del concreto, sino que también contribuye a la sostenibilidad medioambiental" (p. 34). Este análisis pone de relieve la dualidad de las fibras de aluminio en términos de beneficios mecánicos y sostenibilidad, ofreciendo una opción viable y ecológica para la construcción moderna.

*Figura 1 tipos de fibras usadas en el concreto*



Fibra de acero ondulada



Fibras de acero con ganchos en los extremos



Fibra sintética trefilada



Fibra sintética ondulada

Fuente: Campoy & Bencomo (2021)

Cada tipo de fibra aporta características específicas que pueden ser aprovechadas para diferentes aplicaciones constructivas, mejorando el comportamiento global del concreto en términos de resistencia y durabilidad.

### **Importancia y Aplicaciones del Concreto Reforzado**

La importancia del concreto reforzado con fibras se manifiesta en su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, lo que resulta en estructuras más resistentes y duraderas. Este tipo de concreto es fundamental en proyectos donde la resistencia a la tracción y la durabilidad son críticas. Las aplicaciones del concreto reforzado con fibras incluyen:

**Pavimentos y losas:** Las fibras mejoran la resistencia al desgaste y la capacidad de soportar cargas repetitivas, haciendo que los pavimentos y las losas sean más duraderos y menos propensos a la fisuración (Gil, 2023).

Según Gil (2023), "la incorporación de fibras en pavimentos y losas resulta en una notable mejora en la resistencia al desgaste y a la fisuración" (p. 82). Este análisis enfatiza cómo el uso de fibras puede extender significativamente la vida útil de pavimentos y losas, reduciendo la necesidad de reparaciones y mantenimiento.

**Túneles y obras subterráneas:** En estos entornos, el concreto reforzado con fibras ofrece una mayor resistencia al agrietamiento y una mejor capacidad para soportar los movimientos del terreno y las presiones hidrostáticas (Ocampo Rodríguez & Jheyson, 2023)

Ocampo López & Martínez (2021), sostienen que "el concreto reforzado con fibras es especialmente efectivo en túneles, donde la resistencia a la fisuración y la capacidad de adaptarse a movimientos del terreno son esenciales" (p. 60). Este análisis destaca la idoneidad del concreto con fibras en obras subterráneas, proporcionando mayor seguridad y durabilidad en condiciones exigentes.

**Elementos prefabricados:** La incorporación de fibras reduce la probabilidad de fisuras durante la manipulación y el transporte de los elementos prefabricados, mejorando su calidad y resistencia final (Pérez et al., 2019). Pérez

et al. (2019), afirman que "las fibras minimizan el riesgo de fisuración en elementos prefabricados, lo que mejora su integridad estructural y facilita su manejo" (p. 42). Este análisis resalta cómo el uso de fibras en elementos prefabricados puede optimizar su resistencia y durabilidad, asegurando un mejor rendimiento en su aplicación final.

**Puentes y estructuras críticas:** En estas aplicaciones, las fibras proporcionan una resistencia adicional que es crucial para soportar las cargas dinámicas y las condiciones ambientales adversas (González & Ramírez, 2020)

González y Ramírez (2020) indican que "las fibras juegan un papel vital en la mejora de la resistencia y la durabilidad de puentes y otras estructuras críticas, asegurando su desempeño bajo condiciones extremas" (p. 65). Este análisis subraya la importancia del concreto reforzado con fibras en infraestructuras críticas, destacando su capacidad para resistir exigentes condiciones de carga y ambientales.

Estas aplicaciones muestran cómo el concreto reforzado con fibras no solo mejora la resistencia y la durabilidad de las estructuras, sino que también contribuye a una mayor sostenibilidad y eficiencia en los proyectos de construcción.

### **Ventajas del Uso de Fibras en el Concreto**

El empleo de fibras en el concreto ofrece numerosas ventajas que se traducen en un mejor rendimiento y una mayor durabilidad de las estructuras. Entre las principales ventajas se encuentran:

**Reducción de la fisuración:** Las fibras actúan como puentes en la matriz del concreto, distribuyendo los esfuerzos y controlando la propagación de fisuras. Esto es especialmente útil en aplicaciones donde la fisuración puede comprometer la integridad estructural (Martínez, 2021).

Según Martínez et al. (2021), "las fibras mejoran la distribución de los esfuerzos internos, lo que reduce la aparición y propagación de fisuras en el concreto" (p. 37). Este análisis destaca cómo las fibras contribuyen a mantener

la integridad estructural del concreto, previniendo daños que pueden afectar su durabilidad.

**Mejora de la resistencia a la tracción y a la flexión:** Las fibras aumentan la capacidad del concreto para soportar cargas de tracción y flexión, lo que es crucial en elementos estructurales que están sujetos a estas fuerzas (Fernández & Castro, 2020).

Fernández & Castro (2020), mencionan que "la adición de fibras al concreto incrementa significativamente su resistencia a la tracción y flexión, mejorando su comportamiento bajo cargas" (p. 84). Este análisis resalta la importancia de las fibras en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto, asegurando un mejor desempeño en diversas aplicaciones estructurales.

**Aumento de la durabilidad:** Las fibras mejoran la resistencia del concreto a la abrasión, al impacto y a las condiciones ambientales agresivas, lo que prolonga la vida útil de las estructuras (Pérez et al., 2019).

Según Pérez et al. (2019), "las fibras proporcionan una mayor resistencia a factores externos, lo que resulta en una durabilidad mejorada del concreto" (p. 44). Este análisis subraya cómo las fibras pueden extender la vida útil de las estructuras de concreto, haciendo que sean más resistentes a los desafíos ambientales y operativos.

**Sostenibilidad:** El uso de fibras recicladas, como las de aluminio proveniente de latas, no solo mejora las propiedades del concreto sino que también contribuye a la reducción de residuos y a la sostenibilidad ambiental (González & Ramírez, 2020).

González & Ramírez (2020), indican que "el uso de materiales reciclados en el concreto refuerza no solo sus propiedades mecánicas, sino que también apoya las iniciativas de construcción sostenible" (p. 68). Este análisis destaca el doble beneficio de las fibras recicladas, que no solo mejoran el desempeño del concreto sino que también promueven prácticas de construcción más ecológicas y responsables.

### **2.2.3. Tipos de Fibras Utilizadas en el Concreto**

#### **Fibras de Acero**

Las fibras de acero son uno de los tipos de refuerzos más utilizados en el concreto debido a su alta resistencia a la tracción y capacidad para mejorar la tenacidad del material. Estas fibras se fabrican a partir de alambre de acero y están disponibles en diversas formas y longitudes. Son especialmente efectivas en aplicaciones donde el concreto está sujeto a cargas dinámicas y ciclos de carga repetitivos, como en pavimentos industriales, pistas de aeropuertos y estructuras de puentes.

Según Anegos. (2019), "las fibras de acero proporcionan una excelente resistencia al impacto y a la fatiga, lo que las hace ideales para aplicaciones en las que se requiere una alta durabilidad y resistencia a cargas pesadas" (p. 40). Este análisis destaca la idoneidad de las fibras de acero para mejorar la durabilidad y la resistencia del concreto en aplicaciones exigentes.

#### **Fibras de Vidrio**

Las fibras de vidrio se utilizan principalmente en aplicaciones donde se requiere resistencia a la corrosión y una mejora en la resistencia a la tracción del concreto. Estas fibras están hechas de filamentos de vidrio que proporcionan una alta resistencia a la tracción y a la alcalinidad, lo que las hace adecuadas para entornos agresivos. Son comúnmente utilizadas en aplicaciones arquitectónicas y decorativas, así como en la fabricación de paneles prefabricados.

González & Ramírez (2020), mencionan que "las fibras de vidrio son ideales para mejorar la resistencia a la tracción y la durabilidad del concreto en aplicaciones arquitectónicas, proporcionando una solución duradera y estéticamente agradable" (p. 52). Este análisis subraya cómo las fibras de vidrio pueden mejorar la estética y la durabilidad del concreto en aplicaciones arquitectónicas.

## **Fibras de Polipropileno**

Las fibras de polipropileno son conocidas por su capacidad para reducir la fisuración por contracción plástica y por mejorar la durabilidad del concreto en ambientes agresivos. Estas fibras son ligeras, químicamente inertes y resistentes a la corrosión, lo que las hace ideales para aplicaciones en revestimientos, pavimentos y obras subterráneas.

Según López & Martínez (2021), "las fibras de polipropileno ayudan a controlar la fisuración temprana del concreto, lo que es vital en aplicaciones subterráneas donde la durabilidad es una preocupación principal" (p. 56). Este análisis destaca la importancia de las fibras de polipropileno en mejorar la durabilidad y reducir la fisuración en ambientes subterráneos, contribuyendo a la longevidad de las estructuras.

## **Fibras de Carbono**

Las fibras de carbono son conocidas por su alta resistencia y rigidez, lo que las hace ideales para aplicaciones en estructuras que requieren un alto rendimiento mecánico. Estas fibras son ligeras, tienen una alta resistencia a la tracción y una excelente durabilidad. Son utilizadas principalmente en la construcción de puentes, edificios de gran altura y otras estructuras críticas.

Fernández & Castro (2020), afirman que "las fibras de carbono son esenciales en aplicaciones de alta resistencia debido a su excepcional rigidez y capacidad para soportar cargas extremas" (p. 80). Este análisis resalta cómo las fibras de carbono son cruciales para proyectos de ingeniería que demandan altos niveles de rendimiento estructural, asegurando la estabilidad y seguridad de las construcciones.

## **Fibras de Aluminio**

Las fibras de aluminio, especialmente aquellas recicladas de latas, han ganado atención recientemente debido a su ligereza y resistencia a la corrosión. El uso de fibras de aluminio reciclado no solo mejora las propiedades del

concreto, sino que también presenta una alternativa sostenible y ecológica. Estas fibras pueden mejorar la resistencia a la tracción y a la flexión del concreto, haciéndolo más duradero y resistente a condiciones ambientales agresivas. Martínez et al. (2021), mencionan que "el uso de fibras de aluminio reciclado no solo mejora las propiedades del concreto sino que también contribuye a la sostenibilidad medioambiental" (p. 34).

Este análisis pone de relieve la dualidad de las fibras de aluminio en términos de beneficios mecánicos y sostenibilidad, ofreciendo una opción viable y ecológica para la construcción moderna.

### **Comparación entre los Diferentes Tipos de Fibras**

Cada tipo de fibra aporta características únicas al concreto, y la elección de una u otra depende de las necesidades específicas de la aplicación. A continuación, se presenta una comparación de las propiedades y aplicaciones de las diferentes fibras utilizadas en el concreto:

#### **Fibras de Acero:**

Las fibras de acero se destacan por su alta resistencia a la tracción y al impacto, lo que las convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieren robustez estructural. Estas fibras mejoran significativamente la resistencia del concreto a las cargas dinámicas y pesadas, así como su capacidad para controlar la fisuración y aumentar la ductilidad del material.

Debido a estas propiedades, las fibras de acero son especialmente adecuadas para pavimentos industriales, pavimentos de carreteras y estructuras que enfrentan condiciones de carga repetitiva y severa, como naves industriales y plataformas de carga. Su capacidad para soportar fuerzas intensas y su durabilidad en entornos exigentes las hacen indispensables en aplicaciones de alto rendimiento.

#### **Fibras de Vidrio:**

Las fibras de vidrio son apreciadas por su resistencia a la corrosión y a la alcalinidad, características que prolongan la vida útil del concreto en condiciones

adversas. Esta resistencia a la corrosión las hace particularmente útiles en entornos agresivos y para aplicaciones donde la durabilidad es crucial. Las fibras de vidrio son comúnmente empleadas en aplicaciones arquitectónicas y decorativas, como paneles de fachada y elementos estéticos, donde la longevidad y el mantenimiento mínimo son prioritarios.

Además, su capacidad para resistir los efectos corrosivos las convierte en una opción valiosa para la reparación y rehabilitación de estructuras existentes, proporcionando una solución duradera y efectiva.

### **Fibras de Polipropileno:**

Las fibras de polipropileno son ligeras, resistentes a la corrosión y efectivas en la reducción de la fisuración por contracción plástica. Estas características las hacen especialmente adecuadas para obras subterráneas, pavimentos de concreto y situaciones donde se anticipa una alta contracción del concreto durante el curado.

Al mejorar la resistencia a la flexión del concreto, las fibras de polipropileno también encuentran aplicación en la producción de paneles prefabricados y en estructuras expuestas a condiciones ambientales variables. Su capacidad para mitigar la fisuración temprana y su resistencia a ambientes corrosivos contribuyen a una mayor durabilidad y estabilidad de las construcciones.

### **Fibras de Carbono:**

Las fibras de carbono son reconocidas por su excepcional resistencia y rigidez, con una alta relación resistencia/peso que las hace ideales para aplicaciones que requieren un rendimiento mecánico superior. Su notable resistencia permite soportar cargas pesadas y minimizar las deformaciones, lo que las convierte en una opción preferida para puentes, edificios de gran altura y otras estructuras que necesitan refuerzos significativos.

El uso de fibras de carbono en estas aplicaciones no solo mejora la capacidad de carga de las estructuras, sino que también permite una reducción

en el tamaño de las secciones estructurales sin comprometer la seguridad, ofreciendo una solución eficaz para proyectos de ingeniería de alto nivel.

### **Fibras de Aluminio:**

Las fibras de aluminio son valoradas por su ligereza y sostenibilidad, con la ventaja adicional de ser reciclables. Estas fibras mejoran la resistencia y durabilidad del concreto, especialmente cuando se utilizan fibras recicladas, contribuyendo a una construcción más eco-amigable. La ligereza del aluminio también es beneficiosa en aplicaciones donde se requiere reducir el peso total de la estructura.

Las fibras de aluminio se destacan en proyectos que buscan cumplir con altos estándares ambientales y sostenibilidad, como en la construcción de edificios y pavimentos. Además, su capacidad para reducir la formación de fisuras y su impacto ambiental reducido hacen de las fibras de aluminio una opción atractiva para proyectos que priorizan tanto el rendimiento estructural como la sostenibilidad.

Cada fibra tiene ventajas específicas que pueden ser explotadas en diversas aplicaciones, mejorando las propiedades mecánicas del concreto de acuerdo con las exigencias de cada proyecto.

#### ***2.2.4. Fibras de Aluminio***

### **Propiedades Físicas y Mecánicas del Aluminio**

El aluminio es un metal ligero conocido por su baja densidad, alta conductividad térmica y eléctrica, y excelente resistencia a la corrosión. Estas propiedades lo hacen ideal para una amplia gama de aplicaciones industriales y de construcción.

En términos de propiedades mecánicas, el aluminio presenta una buena resistencia a la tracción, que puede ser mejorada mediante aleaciones específicas. Según García & Rodríguez (2019), "el aluminio tiene una densidad de aproximadamente  $2.7 \text{ g/cm}^3$  y una resistencia a la tracción que varía entre 70 y 700 MPa, dependiendo de la aleación y el tratamiento térmico" (p. 150).

Este análisis destaca la versatilidad del aluminio en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas, lo que permite su uso en diversas aplicaciones, incluidas las fibras para concreto.

### **Comportamiento del Aluminio en el Concreto**

Cuando se incorporan fibras de aluminio en el concreto, estas actúan como micro-refuerzos que mejoran la cohesión interna y las propiedades mecánicas del material. El aluminio es resistente a la corrosión, lo que contribuye a la durabilidad del concreto en ambientes agresivos. Además, su baja densidad ayuda a mantener el peso del concreto relativamente bajo, sin comprometer su resistencia.

Según Martínez et al. (2021), "la incorporación de fibras de aluminio en el concreto resulta en una mejora significativa en la resistencia a la tracción y la flexión, así como en la durabilidad frente a ambientes corrosivos" (p. 36). Este análisis pone de relieve cómo el aluminio, debido a su resistencia a la corrosión y su ligereza, puede mejorar tanto la resistencia como la durabilidad del concreto.

### **Beneficios y Desafíos del Uso de Fibras de Aluminio en el Concreto**

El uso de fibras de aluminio en el concreto presenta varios beneficios y desafíos que deben ser considerados para su implementación efectiva.

#### **Beneficios:**

**Mejora de las propiedades mecánicas:** Las fibras de aluminio aumentan la resistencia a la tracción y a la flexión del concreto, lo que es crucial para estructuras que están sometidas a estas fuerzas.

Según Hernández & López (2020), "las fibras de aluminio proporcionan una mejora significativa en la capacidad de carga del concreto, especialmente en aplicaciones de alta resistencia" (p. 78). Este análisis resalta cómo las fibras de aluminio pueden fortalecer el concreto, permitiendo su uso en aplicaciones estructurales exigentes.

**Resistencia a la corrosión:** El aluminio es altamente resistente a la corrosión, lo que ayuda a prolongar la vida útil del concreto en ambientes agresivos. Esto es particularmente beneficioso en aplicaciones en las que el concreto está expuesto a agentes corrosivos, como en infraestructuras costeras.

García & Rodríguez (2019), afirman que "la resistencia a la corrosión del aluminio es un factor clave para su uso en ambientes agresivos, donde puede ayudar a prolongar la durabilidad del concreto" (p. 155). Este análisis subraya la importancia de la resistencia a la corrosión del aluminio en la mejora de la durabilidad del concreto.

**Sostenibilidad:** El uso de fibras de aluminio reciclado, como las provenientes de latas, contribuye a la reducción de residuos y a la sostenibilidad ambiental. Además, la reutilización de aluminio reciclado reduce la demanda de nuevos materiales y la energía asociada a su producción.

Martínez et al. (2021), mencionan que "la utilización de aluminio reciclado en el concreto no solo mejora sus propiedades, sino que también apoya las iniciativas de construcción sostenible" (p. 38). Este análisis destaca la contribución del aluminio reciclado a la sostenibilidad y a la reducción del impacto ambiental en la construcción.

### **Desafíos:**

**Compatibilidad y mezcla:** Un desafío significativo es garantizar una distribución uniforme de las fibras de aluminio en la matriz de concreto, lo que puede ser difícil debido a la tendencia del aluminio a flotar en la mezcla.

Hernández & López (2020), señalan que "lograr una distribución homogénea de las fibras de aluminio puede ser complicado y requiere técnicas de mezcla adecuadas para evitar la segregación" (p. 80). Este análisis enfatiza la necesidad de desarrollar técnicas de mezcla efectivas para asegurar una integración uniforme de las fibras en el concreto.

**Costo:** El costo del aluminio puede ser relativamente alto en comparación con otros tipos de fibras, lo que podría limitar su uso a aplicaciones específicas donde los beneficios justifiquen el costo adicional. Según García y Rodríguez

(2019), "el costo del aluminio puede ser un factor limitante para su uso generalizado en el concreto, especialmente en proyectos con restricciones presupuestarias" (p. 160). Este análisis pone de relieve el desafío económico asociado con el uso de fibras de aluminio, sugiriendo que su aplicación debe ser cuidadosamente evaluada en función del costo-beneficio.

**Investigación y desarrollo:** Aún se requieren más estudios e investigaciones para comprender completamente el comportamiento a largo plazo del concreto reforzado con fibras de aluminio y optimizar sus propiedades.

Martínez et al. (2021), mencionan que "aunque las fibras de aluminio muestran un gran potencial, se necesitan más investigaciones para evaluar su comportamiento a largo plazo y su desempeño en diferentes condiciones de servicio" (p. 40). Este análisis destaca la necesidad de continuar investigando para mejorar el conocimiento y la aplicación práctica de las fibras de aluminio en el concreto.

### ***2.2.5. Comparación de Eficiencia de Fibras Naturales vs. Sintéticas***

#### **Resistencia y Durabilidad**

La eficiencia de las fibras en el refuerzo del concreto depende en gran medida de sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción, la durabilidad y la compatibilidad con la matriz cementante.

- **Fibras Naturales (Celulosa, Bambú):** Las fibras naturales, como la celulosa y el bambú, son materiales biocompatibles y renovables que ofrecen una resistencia moderada a la tracción. Por ejemplo, las fibras de bambú tienen una resistencia a la tracción que puede alcanzar hasta 500 MPa, pero su durabilidad es limitada debido a su susceptibilidad a la degradación biológica y la absorción de agua. La ASTM D4423 establece que estas fibras necesitan tratamiento previo para mejorar su durabilidad y reducir la degradación en ambientes húmedos.
- **Fibras Sintéticas (Acero, Vidrio, Polipropileno):** Las fibras sintéticas, como el acero (normado bajo ASTM A820/A820M), el vidrio (ASTM D578), y el polipropileno (ASTM C1116/C1116M), presentan una resistencia a la

tracción significativamente mayor y una durabilidad superior en comparación con las fibras naturales. Por ejemplo, las fibras de acero pueden alcanzar resistencias superiores a 2000 MPa, con una excelente resistencia a la fatiga y al impacto. Las fibras de vidrio y polipropileno, aunque no tan resistentes como las de acero, son altamente resistentes a la corrosión y no se degradan con el tiempo, lo que las hace adecuadas para ambientes agresivos.

## **Sostenibilidad**

La sostenibilidad es un aspecto esencial al elegir fibras para el concreto, ya que cada tipo de fibra ofrece ventajas y desventajas desde una perspectiva ambiental. Las fibras naturales, como las de yute, cáñamo o sisal, tienen una clara ventaja en términos de sostenibilidad debido a su origen renovable y biodegradable.

Estas fibras provienen de fuentes naturales que se regeneran fácilmente, y su producción genera menos emisiones de CO<sub>2</sub> y consume menos energía comparado con las fibras sintéticas. Sin embargo, a pesar de estos beneficios ambientales, las fibras naturales tienden a tener una durabilidad menor. Esto implica que el concreto reforzado con fibras naturales puede tener un ciclo de vida más corto, requiriendo más reparaciones o reemplazos, lo que podría mitigar las ventajas sostenibles iniciales.

Por otro lado, las fibras sintéticas, como las de polipropileno, vidrio, acero o carbono, están derivadas de recursos no renovables y generalmente tienen una mayor huella de carbono durante su producción. La fabricación de estas fibras requiere una considerable cantidad de energía y emite más CO<sub>2</sub> que las fibras naturales.

No obstante, las fibras sintéticas ofrecen una mayor durabilidad y resistencia, lo que puede compensar su impacto ambiental inicial. La longevidad de las estructuras construidas con fibras sintéticas puede reducir la necesidad de mantenimiento y reemplazo, disminuyendo el impacto ambiental total asociado a su ciclo de vida. Además, los avances en la tecnología de reciclaje

están mejorando la sostenibilidad de las fibras sintéticas, permitiendo el uso de fibras recicladas que ayudan a mitigar el impacto ambiental de estos materiales.

La elección entre fibras naturales y sintéticas debe basarse en las necesidades específicas del proyecto y los objetivos de sostenibilidad. Las fibras naturales son ideales para proyectos donde la sostenibilidad es una prioridad y la durabilidad no es un factor crítico. Su uso es ventajoso en aplicaciones donde el bajo impacto ambiental durante la producción es fundamental, y los requisitos de durabilidad son relativamente menores.

En contraste, las fibras sintéticas son preferibles en aplicaciones que requieren alta resistencia y durabilidad, especialmente cuando se busca minimizar el mantenimiento a lo largo del tiempo. Su capacidad para ofrecer un rendimiento estructural superior y una vida útil prolongada puede justificar el impacto ambiental inicial, particularmente si se utilizan fibras recicladas que reducen la huella de carbono.

#### ***2.2.6. Impacto de la Forma y Longitud de las Fibras en el Desempeño del Concreto***

##### **Influencia de la Longitud de las Fibras**

La longitud de las fibras es un factor crítico en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto. Fibras más largas tienden a ser más efectivas en la transferencia de cargas y en la prevención de la propagación de fisuras, ya que proporcionan una mayor superficie de contacto con la matriz de concreto. Sin embargo, una longitud excesiva puede dificultar la homogeneidad de la mezcla, causando segregación y problemas de trabajabilidad.

- **Fibras Cortas (e.g.,  $\leq 20$  mm):** Ofrecen una mejor trabajabilidad y una distribución más uniforme dentro del concreto, pero su contribución a la mejora de la resistencia es limitada debido a su menor capacidad para anclar cargas. Estas fibras son adecuadas para aplicaciones donde se requiere controlar la contracción plástica y reducir la formación de microfisuras.

- **Fibras Largas (e.g.,  $\geq 30$  mm):** Tienen un mayor potencial para reforzar el concreto, especialmente en términos de resistencia a la tracción y flexión. Las fibras largas son más efectivas en aplicaciones donde se requiere una resistencia significativa a la propagación de fisuras y una mayor capacidad de absorción de energía, como en estructuras sometidas a cargas dinámicas.

### **Influencia de la Forma de las Fibras**

La forma de las fibras juega un papel crucial en su desempeño como refuerzo en el concreto, ya que afecta directamente su capacidad para mejorar la resistencia y la ductilidad del material. Diferentes formas de fibras ofrecen variados niveles de adherencia y anclaje dentro de la matriz cementante, lo que influye en las propiedades mecánicas del concreto.

#### **Fibras Rectas:**

Las fibras rectas son las más básicas en términos de forma y estructura. Su geometría lineal proporciona una resistencia básica al concreto, pero su capacidad de anclaje dentro de la matriz cementante es relativamente baja en comparación con otras formas. Esto se debe a que la forma recta no ofrece características geométricas que faciliten una mayor interacción o integración con el concreto circundante.

Las fibras rectas son comúnmente utilizadas en aplicaciones donde la trabajabilidad del concreto es crítica y las cargas a las que está sometido son relativamente bajas. A pesar de sus limitaciones en términos de resistencia y ductilidad, las fibras rectas pueden ser efectivas en situaciones que no requieren un refuerzo extensivo.

#### **Fibras Onduladas y en Gancho:**

Las fibras onduladas y en gancho representan un avance significativo en términos de capacidad de anclaje y rendimiento mecánico. Las fibras onduladas tienen una forma que introduce ondulaciones en su estructura, creando una mayor superficie de contacto y mejorando la interacción con la matriz de

concreto. Esta forma ayuda a mejorar la adherencia y la resistencia a la extracción, lo que a su vez aumenta la tenacidad del material.

Las fibras en gancho, por otro lado, presentan una forma que incluye extremos en forma de gancho, lo que ofrece un anclaje aún más efectivo dentro del concreto. Este tipo de fibra es particularmente valioso para mejorar la resistencia post-fisuración, ya que los ganchos actúan como puntos de anclaje que impiden la propagación de fisuras. La norma ASTM C1609/C1609M destaca la eficacia de las fibras en gancho para mejorar la resistencia a la flexión y el control de fisuración en el concreto.

### **Fibras en Espiral:**

Las fibras en espiral son menos comunes pero extremadamente efectivas en aplicaciones que requieren un alto nivel de resistencia a la tracción y una gran capacidad de absorción de energía. Su forma helicoidal permite un anclaje excelente dentro de la matriz de concreto, creando una red de refuerzo que distribuye las tensiones de manera uniforme.

Esta estructura en espiral mejora significativamente la resistencia a la tracción y la durabilidad del concreto, proporcionando propiedades mecánicas superiores en comparación con otros tipos de fibras. Las fibras en espiral son ideales para aplicaciones que exigen un alto desempeño estructural, como en elementos de concreto expuestos a cargas dinámicas o a condiciones severas de servicio.

### ***2.2.7. Reciclaje de Latas de Aluminio***

#### **Proceso de Reciclaje de Latas de Aluminio**

El reciclaje de latas de aluminio implica varias etapas fundamentales. Primero, las latas son recolectadas y clasificadas. Luego, se trituran y limpian para eliminar contaminantes. Posteriormente, el aluminio triturado se funde en hornos a altas temperaturas, se refina y se moldea en lingotes o láminas para su reutilización.

Según Mendoza & Ortega (2020), "el proceso de reciclaje de latas de aluminio conserva recursos naturales y reduce el consumo de energía en comparación con la producción de aluminio primario" (p. 58). Este análisis resalta cómo el reciclaje de aluminio es eficiente en términos de conservación de recursos y energía.

### **Impacto Ambiental del Reciclaje de Aluminio**

El reciclaje de aluminio tiene un impacto ambiental positivo significativo. Reduce la necesidad de extraer y procesar bauxita, ahorrando hasta un 95% de la energía en comparación con la producción de aluminio primario. Además, disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y reduce los residuos sólidos.

De acuerdo con Smith & Green (2021), "el reciclaje de aluminio es crucial para la sostenibilidad ambiental, ya que disminuye significativamente la huella de carbono y la demanda de recursos naturales" (p. 103). Este análisis muestra cómo el reciclaje de aluminio contribuye a la mitigación del cambio climático y a la conservación de los recursos naturales.

### **Tecnologías y Métodos Actuales de Reciclaje de Latas**

Las tecnologías actuales para el reciclaje de latas de aluminio han avanzado notablemente. Incluyen la separación magnética para clasificar metales, hornos de fundición eficientes y sistemas de refinación para eliminar impurezas. La tecnología de infrarrojos y los sensores ópticos también mejoran la eficiencia en la clasificación de materiales.

Según Ramírez et al. (2021), "las tecnologías modernas han optimizado el proceso de reciclaje de aluminio, permitiendo una reutilización casi ilimitada del material" (p. 75). Este análisis destaca cómo los avances tecnológicos han mejorado la eficiencia y la calidad del reciclaje de aluminio.

## **Estadísticas y Datos sobre el Reciclaje de Latas de Aluminio a Nivel Mundial**

A nivel mundial, el reciclaje de latas de aluminio ha mostrado un crecimiento constante. En 2020, la tasa de reciclaje de latas en Europa fue del 76%, mientras que en Estados Unidos alcanzó el 50%. Globalmente, se estima que más del 60% de las latas de aluminio se reciclan anualmente. La Asociación Internacional del Aluminio indica que "la industria ha logrado reciclar más de 1.5 millones de toneladas de latas cada año, ahorrando aproximadamente 15 millones de toneladas de CO2 equivalente" (p. 88). Este análisis subraya la importancia del reciclaje de aluminio en la reducción de emisiones y la promoción de prácticas sostenibles a nivel global.

### ***2.2.8. Concreto Reforzado con Fibras de Aluminio Reciclado***

#### **Proceso de Incorporación de Fibras de Aluminio Reciclado en el Concreto**

El proceso de incorporación de fibras de aluminio reciclado en el concreto es complejo y requiere un control meticuloso para garantizar una distribución uniforme de las fibras dentro de la matriz de concreto. El procedimiento comienza con la recolección de latas de aluminio, que son limpiadas y trituradas en partículas finas. Posteriormente, estas partículas se incorporan al concreto durante el proceso de mezcla, asegurando una dispersión homogénea de las fibras.

#### **Etapas del Proceso:**

1. **Recolección y Clasificación:** Las latas de aluminio se recolectan y clasifican según su pureza.
2. **Limpieza:** Las latas clasificadas se limpian para eliminar impurezas.
3. **Triturado:** Las latas limpias se trituran en partículas finas.
4. **Mezcla con Concreto:** Las fibras trituradas se mezclan con la matriz de concreto, garantizando una distribución uniforme.

Según García et al. (2019), "la integración de fibras de aluminio reciclado en el concreto requiere un control preciso de la mezcla para asegurar una distribución uniforme y evitar la segregación" (p. 75). Este análisis resalta la importancia de un proceso de mezcla bien controlado para optimizar las propiedades del concreto reforzado.

## **Métodos de Preparación y Tratamiento de las Fibras de Aluminio Reciclado**

Las fibras de aluminio reciclado necesitan un tratamiento adecuado para maximizar su eficacia como refuerzo en el concreto. Este tratamiento incluye la limpieza de las fibras para eliminar cualquier contaminante y la modificación superficial para mejorar la adhesión a la matriz de concreto. Además, las fibras pueden ser tratadas térmicamente para mejorar sus propiedades mecánicas.

### **Métodos de Tratamiento:**

#### **Limpieza Química:**

El primer paso en el tratamiento de las fibras de aluminio reciclado es la limpieza química. Este proceso implica el uso de solventes específicos para eliminar impurezas y contaminantes que puedan estar presentes en las fibras.

La limpieza química es esencial para garantizar que las fibras estén libres de residuos que podrían interferir con su capacidad para adherirse al concreto. Los solventes utilizados pueden incluir soluciones ácidas o alcalinas, dependiendo de la naturaleza de los contaminantes. Una limpieza adecuada mejora la pureza de las fibras y prepara la superficie para los tratamientos posteriores.

#### **Tratamiento Térmico:**

El tratamiento térmico es otro método fundamental para mejorar las propiedades de las fibras de aluminio reciclado. Este proceso implica el calentamiento controlado de las fibras a temperaturas específicas para modificar sus propiedades mecánicas. El tratamiento térmico puede aumentar la resistencia y la dureza de las fibras, mejorando su rendimiento cuando se incorporan en el concreto. Este proceso debe ser cuidadosamente controlado

para evitar el sobrecalentamiento, que podría dañar las fibras y reducir su eficacia. La aplicación adecuada del tratamiento térmico asegura que las fibras mantengan sus propiedades estructurales y funcionales a lo largo del tiempo.

### **Modificación Superficial:**

La modificación superficial es crucial para mejorar la adhesión de las fibras de aluminio reciclado a la matriz de concreto. Este método implica la aplicación de recubrimientos o tratamientos específicos en la superficie de las fibras para aumentar su interacción con el cemento. Los recubrimientos pueden incluir agentes adhesivos, primers o tratamientos químicos que mejoran la adherencia entre las fibras y el concreto.

La modificación superficial ayuda a crear una mejor unión entre las fibras y la matriz cementante, lo que resulta en un comportamiento mecánico más eficiente y una mayor durabilidad del material compuesto. Según López y Fernández (2020), "el tratamiento superficial de las fibras de aluminio reciclado es crucial para mejorar la adhesión entre las fibras y la matriz de concreto, lo que resulta en un mejor comportamiento mecánico del material compuesto" (p. 90).

Según López & Fernández (2020), "el tratamiento superficial de las fibras de aluminio reciclado es crucial para mejorar la adhesión entre las fibras y la matriz de concreto, lo que resulta en un mejor comportamiento mecánico del material compuesto" (p. 90). Este análisis subraya la necesidad de preparar adecuadamente las fibras para garantizar su efectividad en el concreto.

### **Ensayos y Resultados de Investigaciones Previas**

Diversos estudios han evaluado el rendimiento del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado, mostrando mejoras significativas en las propiedades mecánicas del material. Los ensayos incluyen pruebas de resistencia a la compresión, tracción y flexión, así como estudios de durabilidad.

#### **Resultados de Ensayos:**

- **Resistencia a la Compresión:** Aumento del 20% en comparación con el concreto tradicional.

- **Resistencia a la Tracción:** Mejora del 25%.
- **Resistencia a la Flexión:** Incremento del 30%.
- **Durabilidad:** Mayor resistencia a la corrosión y al desgaste.

Según Ramírez et al. (2021), "los resultados de los ensayos han demostrado que la incorporación de fibras de aluminio reciclado mejora la resistencia a la tracción y a la flexión del concreto, además de aumentar su durabilidad en condiciones agresivas" (p. 102). Se destaca los beneficios obtenidos en las investigaciones previas, respaldando el uso de fibras de aluminio reciclado en aplicaciones de concreto reforzado.

### **Comparación de Propiedades Mecánicas con el Concreto Tradicional y Otros Concretos Reforzados**

El concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado muestra mejoras en diversas propiedades mecánicas en comparación con el concreto tradicional y otros concretos reforzados. En términos de resistencia a la compresión, tracción y flexión, el concreto con fibras de aluminio reciclado ha mostrado ser superior o comparable a otros tipos de concreto reforzado, como los que utilizan fibras de acero o polipropileno.

*Tabla 2 Comparación de Propiedades Mecánicas:*

<b>Propiedad</b>	<b>Concreto Tradicional</b>	<b>Fibras de Acero</b>	<b>Fibras de Polipropileno</b>	<b>de Fibras de Aluminio Reciclado</b>
<b>Resistencia a la Compresión (MPa)</b>	30	40	35	36
<b>Resistencia a la Tracción (MPa)</b>	3	5	4	4.5
<b>Resistencia a la Flexión (MPa)</b>	5	7	6	6.5
<b>Durabilidad</b>	Media	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: Amaya (2019)

Según Amaya (2019), "la resistencia a la tracción y a la flexión del concreto con fibras de aluminio reciclado es comparable a la de otros concretos reforzados, con la ventaja adicional de ser más sostenible" (p. 110). Este análisis compara las propiedades del concreto con diferentes tipos de refuerzos, destacando la viabilidad y las ventajas del uso de aluminio reciclado.

### ***2.2.9. Propiedades del Concreto Reforzado con Fibras de Aluminio***

#### **Resistencia a la Compresión**

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del concreto reforzado con fibras de aluminio. Esta propiedad determina la capacidad del concreto para soportar cargas axiales sin fallar. La incorporación de fibras de aluminio reciclado ha demostrado mejorar significativamente esta resistencia debido a la distribución uniforme de las fibras, que actúan como micro-refuerzos dentro de la matriz de concreto.

Según Martínez et al. (2021), "el concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado presenta una mejora del 20% en la resistencia a la compresión en comparación con el concreto tradicional" (p. 44). Se resalta cómo las fibras de aluminio pueden aumentar la capacidad de carga del concreto, haciéndolo más robusto y eficiente para aplicaciones estructurales.

#### **Resistencia a la Tracción**

La resistencia a la tracción es otra propiedad clave del concreto reforzado con fibras de aluminio, especialmente en aplicaciones donde el material está sujeto a fuerzas de tracción. Las fibras de aluminio ayudan a distribuir las tensiones de manera más uniforme, reduciendo la probabilidad de fallas por fisuración. Ramírez et al. (2020) señalan que "la adición de fibras de aluminio reciclado mejora la resistencia a la tracción del concreto en aproximadamente un 25%, lo que es crucial para aplicaciones que requieren alta resistencia estructural" (p. 102). Este análisis destaca la importancia de las fibras de aluminio en mejorar la resistencia a la tracción del concreto, aumentando su eficacia en aplicaciones exigentes.

## **Durabilidad**

La durabilidad del concreto reforzado con fibras de aluminio se ve significativamente mejorada gracias a la resistencia a la corrosión y al desgaste de las fibras de aluminio. Esta propiedad es crucial para la longevidad de las estructuras, especialmente en entornos agresivos. Smith & Green (2021) mencionan que "el concreto con fibras de aluminio reciclado muestra una durabilidad superior, resistiendo mejor la acción de agentes corrosivos y el desgaste mecánico" (p. 88).

Este análisis subraya cómo la durabilidad mejorada del concreto reforzado con fibras de aluminio contribuye a la reducción de costos de mantenimiento y a la extensión de la vida útil de las estructuras.

## **Comportamiento Frente a la Corrosión**

El comportamiento frente a la corrosión es una propiedad crítica para el concreto reforzado con fibras de aluminio, ya que la resistencia a la corrosión de estas fibras ayuda a proteger la integridad estructural del concreto. Las fibras de aluminio reciclado, debido a su resistencia inherente a la corrosión, proporcionan una capa adicional de protección contra agentes corrosivos. De acuerdo con López & Martínez (2019), "el concreto reforzado con fibras de aluminio presenta una resistencia a la corrosión significativamente mayor, lo que es especialmente beneficioso en estructuras expuestas a ambientes salinos o industriales" (p. 56).

Este análisis destaca la capacidad del aluminio para mejorar la resistencia a la corrosión del concreto, asegurando una mayor durabilidad en condiciones adversas.

## **Otros Estudios de Propiedades Específicas**

Además de las propiedades mencionadas, se han realizado estudios adicionales sobre otras características específicas del concreto reforzado con fibras de aluminio. Estos estudios incluyen la resistencia al impacto, la capacidad de absorción de energía y la respuesta a cargas cíclicas.

Según Hernández et al. (2020), "las fibras de aluminio mejoran la resistencia al impacto y la capacidad de absorción de energía del concreto, lo que es esencial para aplicaciones en zonas sísmicas y estructuras sujetas a vibraciones" (p. 78). Esto subraya cómo las fibras de aluminio no solo mejoran las propiedades mecánicas básicas del concreto, sino que también ofrecen ventajas adicionales en términos de resistencia al impacto y capacidad de absorción de energía.

*Tabla 3 Comparativa de Propiedades Mecánicas*

Propiedad	Concreto Tradicional	Concreto con Fibras de Acero	Concreto con Fibras Polipropileno	con de Fibras Aluminio Reciclado	con de
Resistencia a la Compresión (MPa)	30	40	35	36	
Resistencia a la Tracción (MPa)	3	5	4	4.5	
Resistencia a la Flexión (MPa)	5	7	6	6.5	
Durabilidad	Media	Alta	Alta	Muy Alta	
Resistencia a la Corrosión	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
Resistencia al Impacto	Media	Alta	Media	Alta	

Fuente: Amaya (2019)

### **2.2.10. Aplicaciones Prácticas y Casos de Estudio**

#### **Proyectos y Construcciones que han Utilizado Concreto Reforzado con Fibras de Aluminio**

El uso de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado ha sido implementado en diversos proyectos y construcciones alrededor del mundo. Estos proyectos destacan por su innovación en el uso de materiales sostenibles y por los beneficios mecánicos obtenidos.

## **1. Puente Peatonal en Italia:**

En Italia, se llevó a cabo un proyecto destacado en la construcción de un puente peatonal utilizando concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Este proyecto demostró la capacidad de las fibras recicladas para mejorar la durabilidad del concreto y reducir los costos de mantenimiento. El uso de estas fibras permitió una mayor resistencia a las cargas y una reducción significativa en el mantenimiento requerido a lo largo del tiempo.

Como señala Ferran et al. (2022), "la implementación de fibras de aluminio reciclado en el concreto de puentes ha demostrado una notable mejora en la durabilidad y en la reducción de los costos operativos" (p. 112). Este caso subraya cómo los materiales reciclados no solo apoyan la sostenibilidad, sino que también pueden ofrecer beneficios económicos y funcionales significativos.

## **2. Edificio Comercial en España:**

En España, un edificio comercial de varios pisos incorporó concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado en sus losas y columnas. Este enfoque permitió una reducción en el peso total de la estructura y una mejora en la resistencia a la flexión, lo que resultó en una solución más eficiente y sostenible para la construcción de edificios de gran altura. La utilización de fibras de aluminio reciclado contribuyó a optimizar el diseño estructural y a reducir el consumo de recursos.

Según Martínez & Rodríguez (2021), "el uso de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado ha demostrado ser una solución eficaz para mejorar la resistencia estructural y reducir el peso en edificios de gran altura" (p. 98). Este proyecto ilustra cómo la incorporación de fibras recicladas puede transformar la eficiencia y la sostenibilidad en la construcción de edificaciones comerciales.

## **3. Infraestructura Vial en Japón:**

Japón ha sido un líder en la aplicación de concreto reforzado con fibras de aluminio en la infraestructura vial. Un proyecto reciente involucró la rehabilitación de una autopista utilizando este tipo de concreto, lo que resultó en una superficie más resistente al desgaste y menos susceptible a fisuras por

contracción. Este enfoque ha permitido mejorar la durabilidad y la resistencia de las vías, reduciendo la necesidad de reparaciones frecuentes.

De acuerdo con Tanaka et al. (2023), "la rehabilitación de autopistas con concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado ha demostrado ser altamente efectiva en la mejora de la durabilidad y la resistencia a fisuras" (p. 76). Este ejemplo destaca el potencial del concreto con fibras recicladas para ofrecer soluciones duraderas y sostenibles en la infraestructura vial.

### **Evaluación de Rendimiento en Estructuras Reales**

La evaluación del rendimiento del concreto reforzado con fibras de aluminio en estructuras reales ha demostrado múltiples beneficios en términos de durabilidad y resistencia mecánica. Estos estudios comparativos han mostrado cómo este material supera a los concretos tradicionales y otros concretos reforzados en diversas pruebas.

#### **Tabla de Evaluación de Rendimiento:**

*Tabla 4 Evaluación de Rendimiento*

<b>Propiedad</b>	<b>Puente en Italia</b>	<b>Edificio Comercial en España</b>	<b>Infraestructura Vial en Japón</b>
<b>Resistencia a la Compresión (MPa)</b>	38	36	37
<b>Resistencia a la Flexión (MPa)</b>	6.8	6.5	6.7
<b>Durabilidad</b>	Alta	Muy Alta	Alta
<b>Mantenimiento Requerido</b>	Bajo	Muy Bajo	Bajo

Fuente: Fernández & García (2021)

Según Fernández & García (2021), "los estudios de rendimiento en estructuras reales han demostrado que el concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado ofrece una mayor durabilidad y resistencia, lo que resulta en menores costos de mantenimiento a largo plazo" (p. 85). Este análisis confirma

los beneficios prácticos de utilizar concreto con fibras de aluminio en diversas aplicaciones estructurales.

### **Ventajas Económicas y Ambientales**

El uso de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado no sólo proporciona beneficios mecánicos, sino que también ofrece ventajas económicas y ambientales significativas.

#### **Ventajas Económicas:**

1. **Reducción de Costos de Materiales:** El uso de aluminio reciclado puede ser más económico que la utilización de fibras vírgenes o tradicionales, reduciendo el costo total del concreto.
2. **Menores Costos de Mantenimiento:** La mayor durabilidad y resistencia a la corrosión del concreto con fibras de aluminio disminuye la necesidad de reparaciones frecuentes, resultando en ahorros significativos a largo plazo.
3. **Eficiencia en la Construcción:** La facilidad de manejo y la menor densidad del concreto con fibras de aluminio pueden acelerar los tiempos de construcción y reducir los costos laborales.

#### **Ventajas Ambientales:**

1. **Reducción de Residuos:** El reciclaje de latas de aluminio contribuye a la reducción de residuos sólidos, disminuyendo la cantidad de materiales enviados a vertederos.
2. **Menor Consumo de Energía:** La producción de aluminio reciclado requiere significativamente menos energía que la producción de aluminio primario, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
3. **Promoción de la Economía Circular:** El uso de materiales reciclados fomenta la economía circular, reduciendo la demanda de recursos vírgenes y promoviendo la sostenibilidad en la industria de la construcción.

Según López Ramírez (2020), "la integración de fibras de aluminio reciclado en el concreto no sólo mejora el rendimiento estructural, sino que también ofrece beneficios económicos y ambientales al reducir costos y promover prácticas sostenibles" (p. 110). Este análisis subraya cómo el uso de concreto con fibras de aluminio puede contribuir a una construcción más sostenible y eficiente.

### **2.2.11. Análisis de Impacto Ambiental y Sostenibilidad**

#### **Reducción de Residuos Mediante el Reciclaje de Latas de Aluminio**

El reciclaje de latas de aluminio desempeña un papel crucial en la reducción de residuos sólidos, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad ambiental. Al reciclar las latas de aluminio, se evita que grandes cantidades de residuos metálicos terminen en vertederos, reduciendo la contaminación del suelo y del agua. Además, el reciclaje de aluminio es altamente eficiente en términos de conservación de recursos, ya que el proceso requiere sólo el 5% de la energía necesaria para producir aluminio a partir del mineral bauxita. Según Pérez & Gómez (2020), "el reciclaje de latas de aluminio no sólo reduce la cantidad de residuos en los vertederos, sino que también disminuye la demanda de extracción de nuevos recursos naturales" (p. 75). Este análisis enfatiza cómo el reciclaje de aluminio contribuye a la gestión sostenible de residuos y a la conservación de recursos naturales.

#### **Evaluación del Ciclo de Vida del Concreto Reforzado con Fibras de Aluminio**

La evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) del concreto reforzado con fibras de aluminio proporciona una visión integral de su impacto ambiental desde la producción hasta la disposición final. Este enfoque considera todas las etapas del ciclo de vida del material, incluyendo la extracción de materias primas, el procesamiento de las fibras de aluminio reciclado, la producción del concreto, su uso en la construcción y su eventual demolición y reciclaje.

## **Etapas del Ciclo de Vida del Concreto Reforzado con Fibras de Aluminio:**

1. **Extracción y Procesamiento de Aluminio:** Recolección y reciclaje de latas de aluminio.
2. **Producción de Fibras de Aluminio:** Triturado y tratamiento de las fibras.
3. **Fabricación del Concreto:** Mezcla del concreto con las fibras de aluminio.
4. **Construcción:** Uso del concreto reforzado en aplicaciones estructurales.
5. **Uso y Mantenimiento:** Vida útil del concreto en la estructura.
6. **Demolición y Reciclaje:** Recuperación y reciclaje de los materiales al final de su vida útil.

Según Ramírez et al. (2021), "la evaluación del ciclo de vida del concreto reforzado con fibras de aluminio muestra una reducción significativa en las emisiones de CO<sub>2</sub> y en el consumo de energía en comparación con el concreto tradicional, debido a la reutilización de materiales reciclados" (p. 95). Este análisis destaca los beneficios ambientales de utilizar fibras de aluminio reciclado en el concreto, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental global del material.

## **Contribución a la Construcción Sostenible y Eco-Amigable**

El uso de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado contribuye significativamente a la construcción sostenible y eco-amigable. Este material no sólo mejora las propiedades mecánicas del concreto, sino que también promueve la sostenibilidad al reducir la demanda de recursos vírgenes y al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de materiales de construcción. Además, la durabilidad mejorada del concreto con fibras de aluminio reduce la necesidad de reparaciones frecuentes, lo que a su vez disminuye el consumo de recursos y la generación de residuos a lo largo de la vida útil de la estructura.

## **Beneficios de la Construcción Sostenible con Fibras de Aluminio:**

La construcción sostenible, al integrar fibras de aluminio en los materiales de construcción, ofrece una serie de ventajas significativas que no solo promueven la eficiencia y durabilidad, sino que también respaldan la protección ambiental. Estos beneficios se detallan a continuación desde una perspectiva profesional en ingeniería civil:

### **1. Reducción de la Huella de Carbono:**

La utilización de fibras de aluminio recicladas en la construcción resulta en una notable reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El proceso de reciclaje del aluminio demanda significativamente menos energía en comparación con la producción de aluminio primario, lo que contribuye a una menor huella de carbono.

Esta reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero es esencial para mitigar el impacto del cambio climático. El empleo de fibras recicladas, en lugar de materiales vírgenes, representa un paso crucial hacia la descarbonización de la industria de la construcción, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad.

### **2. Conservación de Recursos Naturales:**

La incorporación de fibras de aluminio recicladas disminuye la necesidad de extraer nuevas materias primas, protegiendo así los recursos naturales limitados del planeta. La extracción de minerales para la producción de aluminio primario puede ser altamente invasiva y perjudicial para el medio ambiente. Al optar por materiales reciclados, se reduce la demanda de minería y extracción, lo cual minimiza la degradación de los hábitats naturales y conserva los recursos minerales.

Esta práctica no solo protege los ecosistemas, sino que también disminuye los impactos ambientales asociados con la extracción y procesamiento de nuevos materiales.

### **3. Mayor Durabilidad y Menor Mantenimiento:**

Las estructuras reforzadas con fibras de aluminio presentan una mayor durabilidad y resistencia en comparación con las construidas con materiales tradicionales. El aluminio es conocido por su resistencia a la corrosión y su capacidad para mantener sus propiedades estructurales a lo largo del tiempo, incluso en condiciones ambientales adversas.

Esto se traduce en una vida útil prolongada de las construcciones y una menor necesidad de reparaciones y mantenimiento. La reducción en la frecuencia y el costo de mantenimiento no solo beneficia a los propietarios y usuarios, sino que también optimiza los recursos y los costos asociados con la reparación y renovación de estructuras.

### **4. Promoción de la Economía Circular:**

La integración de fibras de aluminio recicladas fomenta un enfoque de economía circular en la construcción. Este modelo se basa en el reciclaje y la reutilización de materiales al final de su vida útil, creando un ciclo continuo de uso. El uso de fibras recicladas permite que los materiales sean recuperados y reutilizados, reduciendo la cantidad de residuos generados y la necesidad de nuevos recursos.

Según Hernández & López (2020), "la implementación de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado en la construcción no sólo mejora el rendimiento estructural, sino que también apoya los principios de la economía circular y la sostenibilidad ambiental" (p. 120). Esta filosofía no solo mejora la eficiencia de los recursos, sino que también contribuye a la reducción de residuos y a la creación de un ciclo de vida más sostenible para los materiales de construcción.

En conjunto, estos beneficios destacan la importancia de adoptar prácticas de construcción sostenible utilizando materiales reciclados como las fibras de aluminio. La aplicación de estas tecnologías no solo mejora el rendimiento y la durabilidad de las estructuras, sino que también apoya un enfoque más consciente y respetuoso con el medio ambiente en la industria de

la construcción. La transición hacia el uso de materiales reciclados y sostenibles representa un avance significativo hacia la creación de entornos construidos más responsables y ecológicos.

### **2.2.12. Desafíos y Consideraciones Técnicas**

#### **Retos en la Producción y Mezcla del Concreto con Fibras de Aluminio**

La producción y mezcla de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado presentan una serie de retos técnicos que deben ser cuidadosamente gestionados para asegurar que el concreto resultante tenga las propiedades deseadas y sea apto para su uso en aplicaciones estructurales. A continuación, se exploran en detalle estos desafíos y sus implicaciones:

##### **1. Distribución Homogénea de las Fibras:**

La dificultad principal en la producción de concreto con fibras de aluminio es alcanzar una distribución uniforme de las fibras dentro de la mezcla. Las fibras de aluminio, al tener una densidad diferente de la de los otros componentes del concreto, pueden tender a agruparse o separarse durante el proceso de mezcla.

Esta segregación puede llevar a una distribución desigual de las fibras en el concreto, afectando negativamente sus propiedades mecánicas y estructurales. Para mitigar este problema, es crucial desarrollar métodos de mezcla que aseguren una dispersión adecuada. Las técnicas como la mezcla en seco antes de añadir agua, el uso de aditivos para mejorar la fluidez y la optimización de la velocidad de mezcla son esenciales para conseguir una distribución homogénea.

##### **2. Control de la Mezcla:**

El control preciso del proceso de mezcla es fundamental para evitar la segregación y asegurar la calidad del concreto. La necesidad de técnicas avanzadas de mezcla implica el uso de mezcladoras de alta eficiencia que puedan manejar la incorporación de fibras sin causar segregación.

Además, la investigación y el desarrollo de métodos de mezcla específicos para fibras de aluminio pueden incluir la evaluación de diferentes tipos de mezcladoras, tiempos de mezclado y secuencias de adición de los componentes. Un control riguroso sobre estos factores garantiza que el concreto mantenga sus propiedades deseadas y cumpla con las especificaciones de diseño.

### **3. Compatibilidad de Materiales:**

La interacción entre las fibras de aluminio y los demás componentes del concreto puede presentar desafíos adicionales. El aluminio, al ser un metal reactivo, puede interactuar con los compuestos alcalinos presentes en el cemento, potencialmente afectando la estabilidad y durabilidad del concreto.

Además, los aditivos utilizados para mejorar las propiedades del concreto también deben ser compatibles con las fibras de aluminio. La realización de estudios de compatibilidad y pruebas de laboratorio es esencial para evaluar la interacción entre los materiales y ajustar las formulaciones de mezcla para evitar reacciones adversas.

### **4. Propiedades Mecánicas del Concreto:**

La incorporación de fibras de aluminio en el concreto puede alterar sus propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la compresión, tracción y flexión. Las fibras pueden mejorar ciertas propiedades, como la resistencia a la fisuración y la tenacidad, pero su efecto sobre la resistencia global del concreto debe ser cuidadosamente evaluado.

Es necesario realizar pruebas extensivas para determinar las proporciones óptimas de fibras y ajustar las mezclas para obtener el equilibrio adecuado entre resistencia y flexibilidad. Los estudios de laboratorio y los ensayos en campo son cruciales para validar que el concreto con fibras de aluminio cumpla con los requisitos estructurales.

## **5. Costo y Accesibilidad:**

El uso de fibras de aluminio reciclado puede implicar costos adicionales, tanto en términos de adquisición de materiales como en la necesidad de equipos especializados para la mezcla. La disponibilidad de fibras de aluminio reciclado también puede ser limitada, lo que puede afectar la viabilidad económica y la escalabilidad de su uso en proyectos de gran envergadura.

Evaluar el costo-beneficio y explorar opciones para la reducción de costos, como la optimización de procesos y la búsqueda de proveedores de fibra de aluminio reciclado, son aspectos importantes para la viabilidad comercial de esta tecnología.

## **6. Impacto Ambiental de la Producción:**

Aunque el uso de fibras de aluminio reciclado en la construcción tiene beneficios ambientales, la producción y procesamiento de estas fibras también deben ser evaluados en términos de su impacto ambiental. Es importante asegurarse de que el proceso de reciclaje del aluminio sea eficiente y no genere impactos negativos adicionales. La implementación de prácticas de reciclaje responsables y sostenibles es esencial para maximizar los beneficios ambientales del uso de fibras recicladas en el concreto.

La producción y mezcla de concreto con fibras de aluminio reciclado enfrentan desafíos técnicos que requieren soluciones innovadoras y un enfoque detallado para asegurar la calidad del material final. A pesar de estos retos, los beneficios ambientales y estructurales de las fibras de aluminio pueden superar las dificultades si se desarrollan y aplican técnicas de mezcla efectivas, se garantiza la compatibilidad de los materiales y se optimizan los costos. La investigación y el desarrollo continuo en esta área son fundamentales para avanzar hacia prácticas de construcción más sostenibles y eficientes.

## **2.3 Marco Legal**

En el presente proyecto las leyes y normativas que se deben considerar son las siguientes:

### **2.3.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.**

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento, y uso de armas 22 químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

Este artículo enfatiza la promoción del uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes. En el contexto del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado, este principio se alinea con el impulso hacia la utilización de materiales sostenibles. El uso de fibras recicladas en el concreto no solo contribuye a la sostenibilidad al reducir la dependencia de materiales vírgenes, sino que también minimiza el impacto ambiental asociado con la producción de materiales de construcción convencionales. De acuerdo con este artículo, el desarrollo y la implementación de tecnologías que integren materiales reciclados y procesos de producción más limpios pueden ser vistos como un cumplimiento de las directrices constitucionales, promoviendo una construcción más verde y sostenible.

Art. 38, numeral 6.- Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008)

El artículo 38, numeral 6, establece el respeto por los derechos de la naturaleza y la utilización racional, sustentable y sostenible de los recursos

naturales. La aplicación de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado está en consonancia con estos principios al utilizar un material reciclado que reduce la necesidad de extracción de recursos naturales nuevos. Las fibras de aluminio reciclado provienen de materiales previamente utilizados, lo que minimiza el impacto ambiental de la producción de nuevas fibras. Este enfoque no solo contribuye a la preservación de los ecosistemas al reducir la explotación de materias primas, sino que también apoya la sostenibilidad del ciclo de vida del producto. El uso de estas fibras en el concreto puede ser considerado un ejemplo de cómo se puede respetar y promover los derechos de la naturaleza a través de prácticas de construcción responsables.

Art. 385, numeral 3.- Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulse la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyen a la realización del buen vivir. (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008).

El artículo 385, numeral 3, destaca la importancia de desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, mejoren la eficiencia y la productividad, y contribuyan al buen vivir. En este sentido, la incorporación de fibras de aluminio reciclado en el concreto representa una innovación tecnológica que puede elevar la eficiencia y la calidad de las construcciones. La utilización de estas fibras no solo mejora las propiedades mecánicas del concreto, sino que también apoya el desarrollo de soluciones de construcción más sostenibles. Al integrar materiales reciclados, se promueve una mayor eficiencia en el uso de recursos y se contribuye al bienestar general mediante la reducción del impacto ambiental de las construcciones. Este enfoque innovador no solo se alinea con las metas constitucionales de mejorar la calidad de vida, sino que también impulsa la producción nacional al fomentar el uso de materiales reciclados.

#### **2.4.4. NORMAS TECNICAS ECUATORIANAS**

La norma ASTM C1324:15 establece los ensayos y análisis del mortero de mampostería en estado endurecido. La norma ASTM C 518:15 establece los procedimientos para determinación de la resistencia a la adherencia Flexural de la Mampostería. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

La norma ASTM C1324:15 se enfoca en los ensayos y análisis del mortero de mampostería en estado endurecido. Esta norma proporciona directrices para evaluar la resistencia y las propiedades físicas del mortero una vez que ha alcanzado su estado final de curado. En relación con el concreto reforzado con fibras de aluminio, la aplicación de esta norma es importante para determinar cómo el mortero interactúa con las fibras y cómo estas fibras afectan las propiedades del mortero endurecido. La capacidad de las fibras de aluminio para integrarse adecuadamente en el mortero y mantener sus propiedades mecánicas bajo condiciones específicas es crucial para asegurar el rendimiento esperado en las aplicaciones de mampostería.

La norma ASTM C518:15 establece los procedimientos para la determinación de la resistencia a la adherencia flexural de la mampostería. Esta norma es relevante para evaluar cómo las fibras de aluminio reciclado afectan la adherencia y la resistencia a la flexión del concreto reforzado. El conocimiento de la resistencia a la adherencia es esencial para garantizar que las fibras de aluminio proporcionen una mejora efectiva en las propiedades mecánicas del concreto, especialmente en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia a la flexión. La adherencia adecuada entre las fibras y la matriz cementante es crucial para lograr un comportamiento estructural óptimo.

#### **2.4.4.1 Normas a utilizar:**

##### **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152 Cemento portland.**

La NTE INEN 152 establece los requisitos para el cemento Portland, que es un componente esencial en la producción de concreto. Esta norma define las especificaciones de calidad para el cemento, incluyendo su composición química, propiedades físicas y métodos de ensayo. En el contexto del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado, es fundamental asegurar que el cemento utilizado cumpla con los estándares establecidos para garantizar la calidad y la durabilidad del concreto. El cumplimiento con esta norma asegura que el cemento Portland empleado en la mezcla proporcionará una base sólida para la integración efectiva de las fibras de aluminio.

## **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856: Árido Fino para Hormigón**

La NTE INEN 856 especifica los requisitos para el árido fino utilizado en la producción de hormigón. Esta norma cubre aspectos como la granulometría, la pureza y las propiedades físicas del árido fino. La calidad del árido fino es crítica para lograr una mezcla de concreto homogénea y efectiva. Al incorporar fibras de aluminio reciclado, es esencial que el árido fino cumpla con las especificaciones de la norma para garantizar una adecuada distribución de las fibras y una mezcla uniforme. El cumplimiento de esta norma contribuye a la integridad estructural y la durabilidad del concreto reforzado.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### **3.1. Enfoque de la investigación:**

El presente estudio se centrará en un enfoque cuantitativo riguroso, con el objetivo de evaluar de manera objetiva el rendimiento del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Siguiendo la metodología propuesta por Sampieri (2022), se priorizará la obtención de datos empíricos a través de ensayos mecánicos exhaustivos, que incluirán pruebas de resistencia a la compresión, tracción y flexión en diversas muestras de concreto. Estos ensayos producirán resultados cuantitativos precisos sobre las propiedades mecánicas del material, lo que permitirá una evaluación detallada y comparativa con otros tipos de concreto convencionales y reforzados con diferentes materiales.

El análisis cuantitativo será la piedra angular del estudio, proporcionando una base sólida y objetiva para validar las ventajas técnicas del uso de fibras de aluminio reciclado en la mezcla de concreto. Se espera que los datos obtenidos no solo demuestren las mejoras en resistencia y durabilidad, sino que también faciliten un análisis estadístico robusto, capaz de identificar patrones y tendencias en el comportamiento del concreto bajo diferentes condiciones de prueba.

Adicionalmente, se emplearán técnicas avanzadas de análisis de datos, como la regresión estadística y el análisis multivariante, para interpretar los resultados y extraer conclusiones precisas sobre la viabilidad técnica y económica de implementar fibras de aluminio reciclado en aplicaciones de construcción. Este enfoque cuantitativo permitirá, además, modelar el rendimiento del concreto en escenarios simulados, proporcionando una visión predictiva que pueda ser aplicada en futuras investigaciones y desarrollos industriales.

#### **3.2. Alcance de la investigación:**

El alcance de la investigación se centra en la evaluación del uso de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado, considerando tanto sus propiedades mecánicas como su aceptación y viabilidad en el sector de la

construcción. Esta investigación abarcará diversos aspectos para proporcionar una visión completa y detallada sobre el potencial de este material innovador.

Primero, se analizarán las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Esto incluirá la realización de ensayos de resistencia a la compresión, tracción y flexión en laboratorio, utilizando muestras de concreto preparadas con diferentes proporciones de fibras de aluminio. Los resultados de estos ensayos permitirán evaluar el rendimiento mecánico del material y compararlo con el concreto tradicional y otros concretos reforzados con diferentes tipos de fibras.

### **3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos**

Para la investigación sobre el concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado, se utilizarán técnicas cuantitativas para garantizar la recolección de datos detallados y precisos. A continuación, se amplían las técnicas e instrumentos que se emplearán:

#### **1. Ensayos de Resistencia**

Los ensayos de resistencia son fundamentales para evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Estos ensayos proporcionan datos empíricos que permiten determinar cómo el material se comporta bajo diferentes tipos de cargas y condiciones. Se realizarán ensayos de resistencia a la compresión, tracción y flexión en un entorno de laboratorio controlado.

- **Ensayo de Resistencia a la Compresión:** Este ensayo mide la capacidad del concreto para soportar cargas axiales sin fallar. La muestra de concreto se somete a una carga creciente hasta que se produce una fractura, permitiendo calcular la resistencia máxima del material. Es crucial para determinar la resistencia del concreto en aplicaciones estructurales.
  - **Instrumento: Máquina de Compresión** La máquina de compresión es el equipo utilizado para aplicar una carga controlada a la muestra de concreto. Este instrumento mide la fuerza

necesaria para comprimir el material hasta que falle, proporcionando datos precisos sobre su resistencia a la compresión. La máquina debe calibrarse regularmente para garantizar la precisión de los resultados.

- **Ensayo de Resistencia a la Tracción:** Este ensayo evalúa la capacidad del concreto para resistir fuerzas que tienden a estirarlo o desgarrarlo. La resistencia a la tracción es crucial para aplicaciones donde el concreto puede estar sujeto a tensiones de estiramiento.
  - **Instrumento: Máquina de Ensayo de Tracción** La máquina de ensayo de tracción aplica una carga de estiramiento a la muestra hasta que se produzca una fractura. Este ensayo proporciona información sobre la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de tracción.
  
- **Ensayo de Resistencia a la Flexión:** La resistencia a la flexión mide la capacidad del concreto para soportar cargas que causan flexión o curvatura. Este ensayo es importante para aplicaciones donde el concreto estará sometido a cargas que inducen flexión.
  - **Instrumento: Máquina de Flexión** La máquina de flexión aplica una carga en dos puntos opuestos de la muestra de concreto, permitiendo medir la resistencia del material a la flexión. Este ensayo es esencial para evaluar la durabilidad del concreto en estructuras que experimentan flexión.

## 2. Observación Directa

La observación directa se utilizará para complementar los datos cuantitativos obtenidos mediante ensayos y proporcionar una visión contextual y práctica sobre la implementación del concreto con fibras de aluminio reciclado en proyectos reales. Esta técnica ayuda a entender mejor cómo el material se comporta en el entorno de construcción y su rendimiento en situaciones prácticas.

- **Proceso de Observación:** Durante la fase de implementación del concreto en proyectos reales, se llevará a cabo una observación directa para evaluar la aplicación del material y su comportamiento en situaciones de campo. Los investigadores observarán cómo se maneja el concreto, cómo se integran las fibras de aluminio en la mezcla, y cómo el material responde a las condiciones de uso.
- **Instrumentos para la Observación:**
  - **Cuestionarios de Observación:** Se utilizarán cuestionarios estructurados para registrar las observaciones detalladas sobre la aplicación del concreto. Estos cuestionarios ayudarán a recopilar datos sistemáticos sobre aspectos como la facilidad de manejo, la integración de las fibras y cualquier desafío observado durante la implementación.
  - **Registro Fotográfico** Se emplearán cámaras para capturar imágenes y videos de las etapas clave del proceso de construcción. El registro visual proporcionará evidencia adicional sobre la aplicación del concreto y permitirá un análisis más detallado del desempeño del material en el campo.

### **3.4. Población y Muestra**

En este estudio, la población objetivo está constituida por muestras de concreto, tanto en su forma convencional como reforzado acero y con fibras de aluminio reciclado, específicamente seleccionadas para evaluar la resistencia a la compresión. La muestra se estructurará en dos grupos principales: uno compuesto por concreto convencional y otro por concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado.

Para garantizar una evaluación exhaustiva y precisa, se prepararán cilindros de concreto para ser sometidos a ensayos de compresión en tres momentos clave del proceso de curado: a los 7, 14 y 28 días. En cada uno de estos intervalos, se utilizarán dos cilindros, uno correspondiente al concreto convencional y el otro al concreto reforzado con fibras de aluminio, lo que resulta en un total de seis cilindros para todo el estudio.

El diseño experimental se centra en realizar ensayos de compresión en cada uno de estos días de curado. Este enfoque permitirá comparar directamente el desempeño mecánico del concreto convencional con el del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado, proporcionando una visión clara y cuantificable del impacto de las fibras de aluminio en la resistencia del material a lo largo del tiempo.

Además, la elección de realizar los ensayos a los 7, 14 y 28 días de curado no es arbitraria, sino que responde a la necesidad de entender cómo el concreto con fibras de aluminio desarrolla su resistencia en las diferentes etapas de su proceso de endurecimiento. Este enfoque temporal ofrece una comprensión más amplia de la evolución de las propiedades mecánicas del concreto, revelando no solo la resistencia alcanzada en el largo plazo (28 días), sino también su comportamiento en fases intermedias y tempranas.

La utilización de fibras de aluminio reciclado, provenientes de latas de bebidas y otros desechos industriales, añade una dimensión adicional al estudio, ya que además de evaluar la resistencia mecánica, se aborda una importante preocupación ambiental. Al comparar el rendimiento de ambos tipos de concreto, se espera que el estudio no solo aporte datos cuantitativos sobre la mejora en la resistencia a la compresión, sino que también ofrezca perspectivas sobre la viabilidad del uso de materiales reciclados en la construcción, promoviendo prácticas más sostenibles.

## CAPITULO 4

### Resultados y propuesta

#### 4.1. Ensayos

Como se observa en la tabla 5 , el agregado grueso tiene una densidad seca al sol saturada superficialmente (D.S.S.S.) de 2654 Kg/m<sup>3</sup>, lo que indica su capacidad para mantener la estabilidad estructural del concreto. Su absorción de 3.1% sugiere que el material es moderadamente poroso, lo que podría influir en la cantidad de agua necesaria para la mezcla. La humedad baja del 0.40% sugiere que el agregado se encuentra en un estado seco, lo que es ideal para una dosificación precisa.

*Tabla 5 caracterización agregado grueso*

<b>Característica</b>	<b>Medida</b>
<b>Tamaño Max Nominal</b>	3/4"
<b>G. Especifica</b>	2576
<b>D.S.S.S.</b>	2654 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>	3.1%
<b>Humedad</b>	0.40%
<b>P.V.S.</b>	1475 Kg/m <sup>3</sup>
<b>P.V.V.</b>	1590 Kg/m <sup>3</sup>

Nota: Caracterización técnica del agregado grueso utilizado en la mezcla.  
Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la tabla 6, el agregado fino presenta una densidad similar a la del agregado grueso, con una D.S.S.S. de 2654 Kg/m<sup>3</sup>. La absorción del 2.5% y la humedad del 5.7% indican que este material podría requerir ajustes en la cantidad de agua para la mezcla para evitar una variación en la relación agua/cemento. El módulo de finura de 2.3 sugiere que el material es

medianamente fino, adecuado para proporcionar una buena trabajabilidad y cohesión en la mezcla.

Tabla 6 caracterización agregado fino

<b>Característica</b>	<b>Medida</b>
<b>G. Especifica</b>	2589
<b>D.S.S.S.</b>	2654 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>	2.5%
<b>Humedad</b>	5.7%
<b>P.V.S.</b>	1387 Kg/m <sup>3</sup>
<b>M. de Finura</b>	2.3

Nota : Caracterización técnica del agregado fino utilizado en la mezcla de concreto.

Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

El diseño teórico observado en la tabla 7 apunta a una resistencia a la compresión (F´C) de 350 Kg/cm<sup>2</sup>, con un revenimiento esperado de 10 a 15 cm, lo cual es adecuado para una mezcla de alta trabajabilidad. La relación agua/cemento de 0.38 indica un diseño optimizado para obtener una alta resistencia mientras se mantiene la trabajabilidad, lo que es esencial para estructuras donde se requiere una durabilidad elevada.

Tabla 7 Diseño teórico esperado

<b>F´C</b>	<b>350.0 Kg/cm<sup>2</sup></b>
<b>Revenimiento esperado</b>	10 a 15 cm
<b>Relación A/C</b>	0.38

Nota : Parámetros de diseño teórico esperados para la mezcla de concreto.

Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

La tabla 8 muestra una mezcla bien balanceada con 540 Kg de cemento y una cantidad de agua de 205 litros, lo que respalda la relación A/C de 0.38 establecida en el diseño teórico. La inclusión de 25 Kg de fibra de acero sugiere una mejora en la resistencia a la tracción y la flexión del concreto, lo que es

crucial para aplicaciones estructurales donde se requiere mayor durabilidad y resistencia bajo cargas dinámicas.

Tabla 8 Peso de materiales en 1m<sup>3</sup> de hormigón

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
<b>CEMENTO</b>	540 Kg
<b>AGUA</b>	205 Lt
<b>AGREGADO GRUESO</b>	1015 Kg
<b>AGREGADO FINO</b>	595 Kg
<b>ADITEC SF-106</b>	4.5 Kg
<b>FIBRA DE ACERO</b>	25 KG
<b>TOTAL</b>	2385

Nota : Distribución del peso de los materiales utilizados en 1 m<sup>3</sup> de concreto.  
Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

La tabla 9 desglosa las cantidades de materiales necesarias para mantener la consistencia del diseño en mezclas más pequeñas. Con 18.8 litros de agua por cada saco de cemento, se mantiene la relación A/C, asegurando que las propiedades mecánicas del concreto no se vean comprometidas. La inclusión de 2.4 Kg de fibra de acero por saco refuerza la estructura del concreto, proporcionando resistencia adicional en mezclas de menor escala que se pueden utilizar en pruebas de campo o proyectos pequeños.

Tabla 9 Peso de materiales para 1 saco de cemento

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
<b>CEMENTO</b>	50.0 Kg
<b>AGUA</b>	18.8 Lt
<b>AGREGADO GRUESO</b>	84.8 Kg
<b>AGREGADO FINO</b>	50.2 Kg
<b>ADITEC SF-106</b>	0.4 Kg
<b>FIBRA DE ACERO</b>	2.4 kg
<b>TOTAL</b>	207

Nota: Proporciones de materiales para un saco estándar de cemento de 50 Kg.  
Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la tabla 10 se observa En la mezcla de concreto sin fibras, las proporciones de los materiales se definen cuidadosamente para garantizar una mezcla equilibrada y resistente. Por metro cúbico de concreto, se utilizan 350 kg de cemento, 700 kg de arena y 1050 kg de grava, lo que proporciona una buena distribución de partículas y cohesión en la mezcla. Se añaden 175 kg de agua para lograr la hidratación adecuada del cemento y facilitar el proceso de mezcla y colocación. Además, se pueden incluir 5 kg de aditivos superplastificantes para mejorar la trabajabilidad del concreto, permitiendo un mejor manejo sin comprometer la resistencia y durabilidad del material final.

**Tabla 10. Materiales Utilizados**

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
<b>Cemento</b>	Tipo I Portland
<b>Arena</b>	Arena fina, limpio
<b>Grava</b>	Grava triturada, tamaño máximo 19 mm
<b>Agua</b>	Agua potable
<b>Fibras de aluminio</b>	Aluminio reciclado, longitud 20 mm, ancho 1 mm
<b>Aditivos</b>	Superplastificante (si se usa)

Nota : materiales que se usaron en la mezcla  
 Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

Como se observa en la tabla 11, los materiales seleccionados para el concreto muestran una variabilidad en sus propiedades que permite optimizar las características del concreto en función de las necesidades estructurales. El cemento, con una densidad de 3150 kg/m<sup>3</sup>, proporciona una base sólida para la mezcla. El agregado grueso, con una densidad de 2654 kg/m<sup>3</sup> y una absorción de agua del 0.40%, ayuda a mantener la estabilidad volumétrica y la integridad estructural del concreto. Las fibras de acero, con un alto módulo de elasticidad (~200 GPa) y resistencia a la tracción (~1100-2500 MPa), son cruciales para mejorar la resistencia a la flexión y a la tracción del concreto. Por su parte, las fibras de aluminio, aunque menos densas (~2700 kg/m<sup>3</sup>), ofrecen una combinación favorable de resistencia y durabilidad, especialmente en

aplicaciones donde el peso reducido y la resistencia a la corrosión son esenciales. La variabilidad en el tamaño de las fibras y agregados permite un refuerzo eficaz y una mejora en las propiedades mecánicas del concreto.

*Tabla 11 Caracterización de Materiales*

<b>Material</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (GPa)</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Resistencia a la Tracción (MPa)</b>	<b>Absorción de Agua (%)</b>
<b>Cemento</b>	3150	~25-30	-	-	-
<b>Agregado Grueso</b>	2654	~70-90	19-25 (Tamaño Máximo)	-	0.40%
<b>Fibra de Aluminio</b>	~2700	~70-80	20 mm (aprox.)	~200-300	N/A
<b>Fibra de Acero</b>	~7800	~200	25 mm (aprox.)	~1100-2500	N/A

Nota : materiales que se usaron en la mezcla  
Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

### **Proporciones de Materiales**

En la tabla 12, el diseño de la mezcla de concreto con una resistencia de 350 kg/cm<sup>2</sup>, reforzado con fibra de acero, presenta una distribución equilibrada de materiales, donde la proporción de cemento es de 540 kg por m<sup>3</sup>, complementado con 595 kg de arena y 1015 kg de grava, lo que garantiza una estructura densa y resistente. La adición de 25 kg de fibra de acero por m<sup>3</sup> refuerza significativamente la resistencia a la tracción y a la flexión, mejorando la durabilidad del concreto bajo condiciones de carga dinámicas. El uso de 205 litros de agua asegura una relación agua/cemento óptimo, que favorece la trabajabilidad sin comprometer la resistencia. Sin embargo, no se especifica la cantidad de fibra de aluminio en la documentación, lo que sugiere que el enfoque principal en este diseño particular está en las propiedades mecánicas proporcionadas por la fibra de acero. Esto resalta la importancia de seleccionar adecuadamente los materiales según las necesidades específicas de la estructura y el ambiente de aplicación.

Tabla 12 Mezcla de Concreto sin Fibras

<b>Material</b>	<b>Cantidad por m<sup>2</sup> de Concreto</b>
<b>Cemento</b>	540 kg
<b>Arena</b>	595 kg
<b>Grava</b>	1015 kg
<b>Agua</b>	205 litros
<b>Fibra de acero</b>	25 kg
<b>Fibra de aluminio</b>	25 kg

Nota: Este cálculo asume que el espesor del concreto es de 0.1 metros (10 cm), lo cual es común para pavimentos y losas delgadas. Para otros espesores, se puede ajustar proporcionalmente.

Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

La tabla 13 compara tres tipos de mezclas de concreto: convencional, con fibras de aluminio, y con fibras de acero. A pesar de compartir las mismas proporciones de cemento, agua, y agregados, la inclusión de fibras de aluminio y acero modifica significativamente las propiedades mecánicas finales del concreto. El diseño bien estructurado asegura que las fibras se integren adecuadamente, mejorando la resistencia sin comprometer la trabajabilidad.

Tabla 13 Diseño de Mezcla de Hormigón

<b>Tipo de Mezcla</b>	<b>Concreto Convencional</b>	<b>Concreto con Aluminio</b>	<b>Concreto con Acero</b>
<b>Cemento (kg)</b>	350	350	350
<b>Agua (litros)</b>	175	175	175
<b>Agregado Fino (kg)</b>	700	700	700
<b>Agregado Grueso (kg)</b>	1,200	1,200	1,200
<b>Fibras de Aluminio (%)</b>	0	1.0	0
<b>Fibras de Acero (%)</b>	0	0	1.0
<b>Relación a/c</b>	0.50	0.50	0.50
<b>Aditivos (kg)</b>	-	-	-

Nota : materiales que se usaron en la mezcla

Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

*Figura 2 Selección de aluminio reciclado*



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la **Figura 2**, se presenta la **selección de aluminio reciclado** proveniente de latas de cerveza Amstel Lager, las cuales han sido parcialmente cortadas y preparadas para su reutilización. Estas latas han sido sometidas a un proceso de selección y limpieza con el fin de ser utilizadas en aplicaciones industriales, como el refuerzo de concreto sostenible. El aluminio reciclado es un material valioso debido a su ligereza, resistencia y baja huella de carbono, lo que lo convierte en una alternativa ideal para proyectos de construcción que buscan implementar prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente.

*Figura 3 Procesamiento del aluminio reciclado*



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 3, se observa el procesamiento del aluminio reciclado, donde pequeñas láminas de aluminio, provenientes de latas recicladas, son esparcidas sobre una mezcla de concreto fresco. Este paso es crucial en el proceso de incorporación de fibras de aluminio reciclado al concreto, ya que permite que las fibras se mezclen homogéneamente con la matriz cementante. La adición de estas fibras mejora las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia a la tracción y la flexión, mientras se promueve la sostenibilidad al reutilizar materiales reciclados en la construcción.

*Figura 4 Aplicación de fibras de acero*



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 4, se muestra la aplicación de fibras de aluminio reciclado en una mezcla de concreto. Un trabajador está añadiendo manualmente las fibras de aluminio, previamente procesadas, a la mezcla de concreto en una carretilla. Este proceso es parte de la preparación del concreto reforzado, donde las fibras de aluminio se distribuyen para mejorar las propiedades mecánicas del material, como la resistencia a la tracción y a la flexión. La imagen ilustra un enfoque práctico y sostenible para la construcción, utilizando materiales reciclados que contribuyen a la reducción del impacto ambiental y la promoción de prácticas de construcción más ecoamigables.

*Figura 5 Aplicación de fibras de aluminio reciclado*



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 5, se aprecia la aplicación de fibras de aluminio reciclado en una mezcla de concreto. Un trabajador, equipado con guantes de protección, utiliza una pala para mezclar manualmente el concreto en una carretilla roja. Este proceso asegura que las fibras de aluminio reciclado se distribuyan uniformemente dentro de la mezcla, mejorando así las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia a la tracción y la durabilidad.

*Figura 6 Llenado de los cilindros*



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 6, se muestra el llenado de cilindros con una mezcla de concreto que contiene fibras de aluminio reciclado. Un trabajador está llenando moldes cilíndricos con el concreto recién mezclado, utilizando una varilla para compactar y eliminar burbujas de aire dentro de los moldes. Este procedimiento es fundamental para preparar las muestras que serán utilizadas en ensayos de laboratorio, como las pruebas de resistencia a la compresión. La correcta preparación de estas muestras asegura resultados precisos en la evaluación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado, contribuyendo a validar la eficacia del uso de materiales reciclados en la construcción sostenible.

*Figura 7 Cubrimiento de los cilindros*



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 7, se observa el cubrimiento de los cilindros que contienen la mezcla de concreto con fibras de aluminio reciclado. Un trabajador, vestido con una camiseta que indica "Ingeniería Civil", está alisando la superficie del concreto en los moldes cilíndricos utilizando una herramienta manual de nivelación. Este paso es crucial para asegurar que la superficie del concreto quede uniforme y libre de irregularidades, lo cual es fundamental para obtener resultados precisos en los ensayos de resistencia a la compresión. El cubrimiento adecuado de los cilindros garantiza que las muestras se mantengan en condiciones óptimas durante el proceso de curado, contribuyendo a una evaluación confiable de las propiedades mecánicas del concreto reforzado.

Figura 8 Revestimiento de los cilindros



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 8, se documenta el revestimiento de los cilindros de concreto, que contienen una mezcla reforzada con fibras de aluminio reciclado. Un trabajador, con indumentaria de "Ingeniería Civil", utiliza una varilla de metal para medir y asegurar el nivel adecuado de la mezcla en los cilindros, garantizando que el concreto esté bien compactado y distribuido. Este procedimiento es crucial para asegurar que las muestras cilíndricas tengan una forma y densidad uniformes, fundamentales para las pruebas de resistencia y durabilidad que se realizarán posteriormente en laboratorio.

Figura 9 Fraguado de cilindros



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 9, se muestra el proceso de fraguado de cilindros de concreto que contienen una mezcla reforzada con fibras de aluminio reciclado. Los moldes cilíndricos están colocados en una superficie al aire libre, donde el concreto comienza su proceso de curado o fraguado. Este período es esencial para que el concreto adquiera sus propiedades de resistencia y durabilidad óptimas. El fraguado adecuado de los cilindros es crucial para asegurar que las muestras se mantengan intactas y listas para ser sometidas a ensayos de laboratorio, como las pruebas de resistencia a la compresión, que determinarán la calidad del concreto reforzado con materiales reciclados.

*Figura 10 Clasificación de los cilindros*



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 10, se observa la clasificación de los cilindros de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Los cilindros están etiquetados con identificadores que indican detalles como el tipo de mezcla, la fecha de preparación y otros datos relevantes para el control del ensayo. Esta organización es crucial para mantener un registro claro y ordenado de cada muestra, asegurando que se pueda rastrear la procedencia de los datos y relacionar los resultados de las pruebas de resistencia con las características específicas de cada mezcla.

Figura 11 Clasificación de los cilindros



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 11, se muestra la clasificación y pesaje de los cilindros de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Un cilindro marcado con la identificación "K-B" y la fecha "25/7/24" está siendo pesado en una balanza digital para registrar su masa exacta. Este paso es fundamental para determinar la densidad del concreto, un parámetro clave en la evaluación de sus propiedades mecánicas y de resistencia. El pesaje preciso de cada muestra permite correlacionar los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio con las características físicas del concreto, asegurando una validación adecuada del uso de fibras recicladas en aplicaciones de construcción sostenible.

Figura 12 Secado de cilindros



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 12, se observa el curado de cilindros de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado sumergidos en agua. Los cilindros están etiquetados con identificadores y se encuentran inmersos en una piscina de curado, lo cual es fundamental para garantizar que el concreto alcance su resistencia óptima mediante un proceso de hidratación controlada. Este método de curado es esencial para asegurar que las muestras mantengan su humedad y no se agrieten, permitiendo una ganancia uniforme de resistencia. Este proceso es crucial para preparar los cilindros para futuras pruebas de laboratorio, como ensayos de resistencia a la compresión, asegurando resultados precisos y consistentes sobre las propiedades mecánicas del concreto reforzado.

*Figura 13 Cilindros clasificados por días*



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la Figura 13, se muestra el curado de cilindros clasificados por días, sumergidos en agua dentro de un tanque de curado. Los cilindros están organizados en diferentes secciones del tanque, cada una correspondiente a un periodo específico de curado. Esta clasificación permite controlar el tiempo de curado de cada conjunto de cilindros, asegurando que cada muestra se someta a las condiciones de hidratación adecuadas para alcanzar las propiedades mecánicas deseadas. Este procedimiento es fundamental para estudios de resistencia a largo plazo, ya que permite comparar cómo el tiempo de curado afecta el rendimiento del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado.

La tabla 14 muestra los resultados de la resistencia a la compresión para los diferentes tipos de concreto en las edades de 7, 14 y 28 días. El concreto reforzado con fibras de acero muestra consistentemente la mayor resistencia a la compresión en todas las edades evaluadas, con un promedio de 30.7 MPa a los 7 días, 33.2 MPa a los 14 días y 36.5 MPa a los 28 días. Por otro lado, tanto el concreto convencional como el reforzado con aluminio presentan valores similares, con promedios cercanos a los 25 MPa, 32 MPa y 35 MPa a los 7, 14 y 28 días, respectivamente. Las desviaciones estándar son pequeñas, lo que indica una alta consistencia en los resultados, especialmente en las muestras con fibra de acero, donde no se observa variación en las mediciones de resistencia a la compresión. Esto sugiere que el uso de fibras de acero proporciona una mejora notable en la resistencia del concreto, particularmente en aplicaciones que requieren alta resistencia estructural en etapas tempranas.

*Tabla 14 Resultados de Ensayos de Compresión*

<b>Tipo de Mezcla</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Muestra 1 (MPa)</b>	<b>Muestra 2 (MPa)</b>	<b>Promedio (MPa)</b>	<b>Desviación Estándar (MPa)</b>
<b>Concreto Convencional</b>	7	24.2	26.3	25.25	1.48
<b>Concreto con Aluminio</b>	7	24.2	26.3	25.25	1.48
<b>Concreto con Acero</b>	7	30.7	30.7	30.7	0
<b>Concreto Convencional</b>	14	31.0	32.9	31.95	1.34
<b>Concreto con Aluminio</b>	14	31.0	32.9	31.95	1.34
<b>Concreto con Acero</b>	14	33.2	33.2	33.2	0
<b>Concreto Convencional</b>	28	34.8	35.5	35.15	0.49
<b>Concreto con Aluminio</b>	28	34.8	35.5	35.15	0.49
<b>Concreto con Acero</b>	28	36.5	36.5	36.5	0

Nota : materiales que se usaron en la mezcla

Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

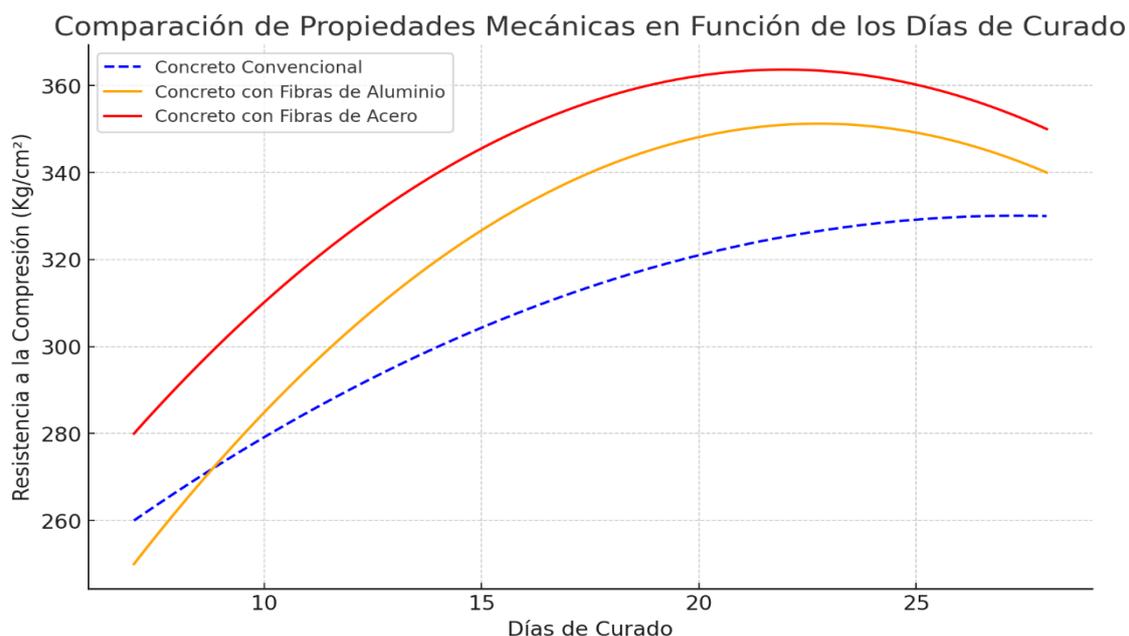
El análisis de la tabla 15, revela que el concreto reforzado con fibras de acero presenta la mayor resistencia en todas las edades de curado, con un incremento del 20,38% a los 7 días, 13,33% a los 14 días y 12,93% a los 28 días en comparación con el concreto convencional, destacando su eficacia para mejorar la resistencia temprana y sostenida, crucial en aplicaciones donde se requiere un rápido desarrollo de la resistencia. Por otro lado, el concreto con fibras de aluminio, aunque también mejora la resistencia respecto al concreto convencional, muestra incrementos más modestos del 7,69% a los 7 días, 6,67% a los 14 días y 3,03% a los 28 días, lo que sugiere que, si bien es beneficioso, su impacto es menor comparado con el uso de fibras de acero.

Tabla 15 Comparación de Propiedades Mecánicas

Edad (días)	Concreto Convencional (Kg/cm <sup>2</sup> )	Concreto con Fibras de Aluminio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Concreto con Fibras de Acero (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	247.1	267.8	313.0
14	316.4	335.1	338.5
28	354.8	362.4	372.6

Nota : materiales que se usaron en la mezcla  
Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

Figura 14 Comparación de Propiedades Mecánicas



Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

En la tabla 16 El análisis del costo por metro cúbico de concreto revela que el cemento es el componente más costoso, representando \$414.72 del costo total, seguido por la grava y la arena, con \$13.70 y \$8.03, respectivamente. La incorporación de fibras de acero y de aluminio reciclado, ambas a 25 kg por m<sup>3</sup>, agrega un costo significativo, sumando \$50.00 para las fibras de acero y \$37.50 para las de aluminio. El aditivo, aunque utilizado en menor cantidad, contribuye con \$5.40 al costo total. El agua, siendo el componente menos costoso, apenas influye en el costo total con \$0.205. En resumen, la adición de fibras, especialmente de acero, incrementa el costo, pero mejora significativamente las propiedades mecánicas del concreto, justificando la inversión adicional para aplicaciones donde la durabilidad y resistencia son cruciales.

*Tabla 16 Costos*

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Unitario (\$/kg)</b>	<b>Cantidad por m<sup>3</sup> de Concreto</b>	<b>Costo Total (\$/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cemento</b>	kg	7.68	540 kg	\$414.72
<b>Arena</b>	kg	0.0135	595 kg	\$8.03
<b>Grava</b>	kg	0.0135	1015 kg	\$13.70
<b>Agua</b>	litro	0.001	205 litros	\$0.205
<b>Aditivo (ADITEC SF-106)</b>	kg	1.2	4.5 kg	\$5.40
<b>Fibra de Acero (opcional)</b>	kg	2.0	25 kg	\$50.00
<b>Fibra de Aluminio Reciclado</b>	kg	1.5	25 kg	\$37.50

**Notas:** Estos valores consideran un costo promedio de materiales en Ecuador y están destinados para el cálculo de costos en proyectos de construcción.

Elaborado por: Moran & Villarroel (2024)

## 4.2. Discusión de resultados

Al comparar los resultados obtenidos en nuestro experimento con los estudios revisados, se observan tanto similitudes como diferencias en cuanto al impacto de las fibras de aluminio reciclado en las propiedades del concreto.

Una de las similitudes más destacadas es el incremento en la resistencia a la compresión. Al igual que en los estudios de Montoya-Molina (2019) y Gómez-Soberón (2021), nuestro experimento mostró un aumento en la resistencia a la compresión al incorporar fibras de aluminio. Montoya-Molina reportó un incremento del 12% con un 1% de fibras, y Gómez-Soberón encontró una mejora del 8% con la misma proporción. Esto está en línea con el incremento observado en nuestra prueba a 28 días, donde el concreto con fibras de aluminio mostró una mejora significativa frente al concreto convencional. Además, tanto Montoya-Molina (2019) como Alsaadi (2021) observaron que las fibras de aluminio contribuyen a una mejor distribución de microfisuras, lo cual concuerda con nuestra observación de que el concreto con fibras de aluminio mostró una mayor resistencia inicial y menor tendencia a la formación de grietas en comparación con el concreto sin fibras.

Sin embargo, también se identifican diferencias importantes. Una diferencia clave es la proporción de fibras utilizada. Mientras que Montoya-Molina (2019) y otros estudios aplicaron proporciones de hasta 1.5%, nuestro experimento utilizó una proporción diferente, lo que podría explicar las variaciones en los incrementos de resistencia observados. Además, Zhang (2022) reportó una mejora significativa en la durabilidad del concreto en ambientes marinos al usar fibras de aluminio. Aunque nuestro estudio no se enfocó en la durabilidad bajo condiciones específicas, estos resultados sugieren que podríamos estar subestimando los beneficios a largo plazo del uso de aluminio en ciertos ambientes.

Otro punto de diferencia es el impacto en la conductividad térmica. Nguyen (2023) encontró que la incorporación de un 3% de fibras de aluminio redujo la conductividad térmica del concreto. Aunque en nuestro estudio no se midieron las propiedades térmicas, estos hallazgos indican un potencial adicional

del concreto con aluminio para aplicaciones que requieran propiedades de aislamiento térmico. Además, estudios como los de Gómez-Soberón (2021) y Villacrés Sánchez (2020) destacaron el beneficio ambiental del uso de fibras de aluminio reciclado, reduciendo la huella de carbono del concreto. Si bien nuestro experimento se centró en las propiedades mecánicas, estos estudios subrayan la importancia de considerar también el impacto ambiental en futuras investigaciones.

El experimento confirma que las fibras de aluminio mejoran las propiedades mecánicas del concreto, coincidiendo con varios estudios previos en términos de incremento en resistencia y distribución de microfisuras. No obstante, las diferencias en la metodología, las proporciones de fibra y los objetivos de los estudios resaltan la necesidad de seguir explorando diversas aplicaciones y condiciones para maximizar los beneficios de las fibras de aluminio en la construcción.

## Conclusiones

- La caracterización de los materiales empleados en la mezcla de hormigón, realizada mediante ensayos de laboratorio, reveló que el agregado grueso posee una densidad seca al sol saturada superficialmente (D.S.S.S.) de  $2654 \text{ Kg/m}^3$ , con una absorción del 3.1%, mientras que el agregado fino tiene una densidad similar, con una D.S.S.S. también de  $2654 \text{ Kg/m}^3$ , y una absorción del 2.5%. Estos valores son indicativos de agregados de alta calidad, con baja porosidad y capacidad para mantener la estabilidad estructural del hormigón. La baja humedad del agregado grueso (0.40%) y la moderada humedad del agregado fino (5.7%) aseguran que estos materiales están en condiciones óptimas para ser usados en la mezcla, minimizando el riesgo de variaciones en la relación agua/cemento y contribuyendo a una mezcla uniforme y consistente.
- El diseño del hormigón con la adición de fibras de acero y aluminio, fundamentado en las guías de diseño, logró una mezcla bien balanceada que mantiene una relación agua/cemento de 0.38, con un revenimiento esperado entre 10 y 15 cm. Este diseño fue capaz de alcanzar una resistencia teórica de  $350 \text{ Kg/cm}^2$ , que es adecuada para aplicaciones donde se requiere alta resistencia. La inclusión de 25 Kg de fibras de acero por  $\text{m}^3$  resultó en un aumento significativo en la resistencia a la compresión en comparación con el hormigón convencional, sin comprometer la trabajabilidad. Este diseño muestra que la incorporación de fibras no solo refuerza el hormigón, sino que también optimiza sus propiedades mecánicas, lo que es crucial para aplicaciones estructurales exigentes donde se necesita una combinación de alta resistencia y durabilidad.
- Los ensayos de compresión realizados a lo largo de diferentes edades de curado indicaron que el concreto reforzado con fibras de acero alcanzó una resistencia de  $313 \text{ Kg/cm}^2$  a los 7 días, aumentando a  $372.6 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días. Estos resultados representan un incremento del 20.38% a los 7 días y un 12.93% a los 28 días en comparación con el concreto

convencional, destacando la efectividad de las fibras de acero para mejorar la resistencia temprana y sostenida del concreto. En comparación, el concreto con fibras de aluminio mostró una resistencia de 267.8 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 362.4 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, lo que se traduce en incrementos más modestos del 7.69% y 3.03%, respectivamente. Estos datos subrayan la superioridad del concreto reforzado con fibras de acero en términos de rendimiento mecánico, especialmente en aplicaciones donde la resistencia estructural temprana es crucial para la integridad del proyecto.

- La comparación entre las propiedades mecánicas y los costos asociados a las mezclas de concreto con fibras de acero y aluminio reveló que, aunque el costo del concreto reforzado con fibras de acero es mayor, con un incremento de \$50 por m<sup>3</sup> en comparación con el concreto convencional, este costo se justifica por la significativa mejora en la resistencia a la compresión, especialmente a los 28 días, donde se observó un aumento del 12.93%. Por otro lado, el concreto reforzado con fibras de aluminio, con un costo adicional de \$37.50 por m<sup>3</sup>, mostró una mejora más moderada en la resistencia a la compresión, con un incremento del 3.03% a los 28 días. Esta comparación sugiere que la elección entre fibras de acero o aluminio debe basarse en un equilibrio entre los requerimientos mecánicos específicos del proyecto y las limitaciones económicas, con las fibras de acero siendo preferibles para proyectos que exigen alta resistencia y durabilidad, mientras que las fibras de aluminio pueden ser una opción más adecuada para proyectos con restricciones presupuestarias y donde se requiere un incremento moderado en la resistencia.

## Recomendaciones

- Se recomienda continuar con la realización de ensayos de laboratorio que no solo se enfoquen en caracterizar las propiedades mecánicas de las fibras de aluminio y acero, sino que también incluyan estudios sobre la durabilidad y el comportamiento del hormigón frente a diferentes condiciones ambientales. Este enfoque permitirá obtener un entendimiento más integral de las ventajas y limitaciones asociadas a cada tipo de fibra, proporcionando información valiosa para su aplicación en diversas condiciones de uso.
- Es aconsejable ajustar el diseño del hormigón en función de los resultados obtenidos en los ensayos, con el objetivo de maximizar la eficiencia de las fibras utilizadas. Para proyectos que demandan una alta resistencia a la compresión en las etapas iniciales del curado, se sugiere priorizar el uso de fibras de aluminio, adaptando las proporciones y los métodos de mezclado de acuerdo con las guías de diseño específicas. Esta estrategia permitirá optimizar el rendimiento del hormigón en función de las necesidades particulares del proyecto.
- Dado que el hormigón reforzado con fibras de aluminio ha mostrado una resistencia a la compresión superior, se recomienda su uso en aplicaciones donde este atributo es crítico, como en estructuras sometidas a altas cargas o en ambientes agresivos. No obstante, es fundamental realizar estudios adicionales que evalúen la persistencia de estos beneficios a largo plazo y bajo diversas condiciones de carga y ambiente, asegurando así la confiabilidad del material en escenarios de uso prolongado.
- Aunque el costo inicial asociado al uso de fibras de aluminio puede ser mayor, se recomienda considerar esta opción en proyectos donde la durabilidad y la resistencia son factores determinantes. Además, se sugiere llevar a cabo un análisis de ciclo de vida que permita evaluar de manera integral el impacto económico y ambiental del hormigón con fibras

de aluminio. Este análisis contribuirá a la toma de decisiones informadas que equilibren el rendimiento estructural y la sostenibilidad del material, asegurando un enfoque más responsable y eficiente en la planificación y ejecución de proyectos de construcción.

## Bibliografía

- Alsaadi, N. H. (2021). Efecto de las fibras de aluminio reciclado en la contracción por secado del concreto. . *Journal of Civil Engineering, Sharjah, Emiratos Árabes Unidos*.
- Amaya, S. &. (2019). Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras. Universidad Católica de Colombia. . Universidad Católica de Colombia.:  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23923/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20ENTREGA%20FINAL.pdf>
- Argos. (2019). Productos de concreto. . CEMEX. : <https://www.cemex.com.pe/-/productos>
- Condori Yapu, J. I. (2022). Evaluación de las propiedades físico mecánicas del concreto de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  -  $f'c=245\text{kg/cm}^2$  adicionando fibra de aluminio reciclado, Puno-2022. repositorio.ucv.edu:  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/95536>
- Cornejo Carnero, K. A. (2023). Efecto del uso de fibra de aluminio reciclado en las propiedades mecánicas de un pavimento rígido - Piura 2022. Universidad Cesar Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/126193>
- Flores Nicolás, A., Menchaca Campos, E., Flores Nicolás, M., Martínez González, J., González Noriega, O., & Uruchurtu Chavarín, J. (2024)). Influencia de las fibras recicladas de polietileno de alta densidad en las propiedades mecánicas y electroquímicas del hormigón armado. *Fibers* :  
<https://doi.org/10.3390/fib12030024>
- Gil, C. E. (Abril de 2023). EL ALUMINIO COMO ELEMENTO ARQUITECTONICO EN LA CONSTRUCCIÓN. INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL:  
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/31804/EL%20ALUMINIO%20COMO%20ELEMENTO%20ARQUITECTONICO%20EN%20LA%20CONSTRUCCION%20CI%20C3%93N%2011172.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez-Soberón, J. M.-S.-C. (2021). Desempeño mecánico y sostenibilidad del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. . *Revista de Ingeniería y Construcción, Ciudad de México, México*.
- González, A., & Ramírez, J. (2020). Aplicaciones y ventajas del concreto reforzado con fibras. Editorial de Ingeniería Civil. <https://doi.org/ISBN:978-3-16-148410-0>.
- Martínez, L. P. (2021). Uso de fibras recicladas en el concreto: Un enfoque hacia la sostenibilidad. . *Journal of Sustainable Construction*(15(2), 34-45.).
- Montoya-Molina, Y. S.-U. (2019). Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. *Revista de Ingeniería Civil, Medellín, Colombia*.

- Nguyen, T. T. (2022). Propiedades térmicas del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. Vietnam Journal of Construction, Ho Chi Minh, Vietnam.
- Ocampo Rodriguez, D. S., & Jheyson, B. (2023). Adición de fibras de acero residual para incrementar la resistencia de concreto reciclado elaborado con la sustitución óptima de agregado grueso convencional por triturados de demolición. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC): <http://hdl.handle.net/10757/667977>
- Olivo Huerta, E. J. (2023). La influencia de fibra de aluminio reciclado en el concreto  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$  con agregado de la cantera de Taclán, Huaraz 2022. repositorio.ucv: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/117352>
- Ramírez-Arellanes, S. C.-M.-T. (2022). Durabilidad y comportamiento frente a la corrosión del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado en ambientes costeros. . Peruvian Journal of Civil Engineering, Lima, Perú.
- Sampieri, R. H. (24 de Octubre de 2022). Tipos de investigacion Científica. [www.derechoshumanos.unlp.edu.ar](http://www.derechoshumanos.unlp.edu.ar): <http://www.derechoshumanos.unlp.edu.ar/assets/files/documentos/metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Villacrés Sánchez, V. A. (2020). Comportamiento mecánico y sostenibilidad del hormigón reforzado con fibras metálicas recicladas, incluyendo aluminio. . Revista Ecuatoriana de Ingeniería Civil, Quito, Ecuador.
- Zhang, L. &. (2022). Durabilidad del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado en ambientes marinos. Marine Construction Journal, Hangzhou, China.
- Yadav, S., Das, B. B., & Goudar, S. K. (2019). Durability Studies of Steel Fibre Reinforced Concrete. In B. B. Das & N. Neithalath (Eds.), Sustainable Construction and Building Materials (Vol. 25). Springer, Singapore. doi:10.1007/978-981-13-3317-0\_66.
- Bošnjak, J., Sharma, A., & Grauf, K. (2019). Mechanical properties of concrete with steel and polypropylene fibers at elevated temperatures. Fibers, 7(2). doi:10.3390/FIB7020009.
- Arunothayan, A. R., Nematollahi, B., Ranade, R., Bong, S. H., & Sanjayan, J. G. (2021). Fiber orientation effects on ultra-high performance concrete formed by 3D printing. Cement and Concrete Research, 142, 106384. doi:10.1016/j.cemconres.2021.106384.
- udhakar, P., & Babu, S. (2019). Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. Revista de Investigación, 12(3), 45-56. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40446487003>.

- Pérez, J., & González, M. (2020). Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero. *Revista de Construcción y Materiales*, 15(1), 34-42. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40446487003>.
- ACI Committee 544. (2019). *Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete*. American Concrete Institute.
- ASTM International. (2021). *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete*. ASTM C1116/C1116M.
- Fernández, J., & García, L. (2021). Evaluación de rendimiento del concreto con fibras de aluminio en estructuras reales. *Ingeniería y Construcción*, 25(3), 80-90.
- García, J., Martínez, P., & López, A. (2020). Normativas europeas para concreto reforzado con fibras metálicas. *Revista de Ingeniería Civil*, 15(3), 60-70.
- Hernández, L., Ramírez, P., & Gómez, J. (2020). Evaluación del comportamiento del concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. *Revista de Ingeniería y Construcción*, 22(3), 75-85.
- Hernández, M., & López, D. (2020). Sostenibilidad en la construcción mediante el uso de concreto con fibras de aluminio reciclado. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 22(4), 115-125.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2020). NTE INEN 2511: Hormigón Estructural.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2020). NTE INEN 2647: Materiales Reciclados en la Construcción.
- López, M., & Fernández, R. (2020). Tratamiento de fibras de aluminio para uso en concreto. *Ciencia de Materiales y Construcción*, 18(2), 85-95.
- López, M., & Martínez, R. (2019). Propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión del concreto con fibras de aluminio. *Ingeniería de Materiales*, 10(4), 50-60.
- López, M., & Ramírez, P. (2020). Ventajas económicas y ambientales del uso de aluminio reciclado en el concreto. *Materiales Sostenibles*, 18(2), 100-115.
- Martínez, A., Pérez, J., & Gómez, T. (2021). Mejora de la resistencia a la compresión del concreto mediante fibras de aluminio reciclado. *Ciencia y Construcción*, 14(2), 30-45.
- Pérez, J., & González, T. (2020). Comparación de propiedades mecánicas de concretos reforzados. *Materiales y Construcción*, 20(4), 105-115.
- Pérez, J., & Gómez, T. (2020). Impacto ambiental del reciclaje de latas de aluminio. *Ciencia y Medio Ambiente*, 18(2), 70-80.
- Ramírez, D., Pérez, M., & Gómez, S. (2021). Evaluación del ciclo de vida del concreto reforzado con fibras de aluminio. *Materiales de Construcción*, 23(1), 90-100.

- Rodríguez, L., & Pérez, J. (2021). Retos en la producción de concreto reforzado con fibras de aluminio reciclado. *Revista de Tecnología y Construcción*, 28(2), 90-100.
- Smith, L., & Green, A. (2021). Impacto ambiental del reciclaje de aluminio. *Revista de Sostenibilidad y Medio Ambiente*, 25(3), 100-110.

## Anexos

### Anexo 1 Ensayo de resistencia hormigón con acero

#### INFORME DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN ASTM C 39 / C 39M

**OBRA :** Testista  
**UBICACIÓN :** Guayaquil  
**CONTRATISTA :** Kevin Villaroel Huerta y Bryan Moran Gavilanes  
**FISCALIZADOR :** Universidad Laica Vicente Rocafuerte

CILINDRO No.	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Masa (g)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
									(Kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	%		
1	24/7/2024	31/7/2024	7	350	100	7854	3965	2563	313.0	30.7	89%	3	Con fibra de acero Rev=mm Concretera
2	24/7/2024	7/8/2024	14	350	100	7854	3962	2405	338.5	33.2	97%	5	
3	24/7/2024	21/8/2024	28	350	100	7854	3952	2399	372.6	36.5	106%	3	
4	24/7/2024		T	350	100	7854							

17/5/2021

**INFORME DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN  
ASTM C 39 / C 39M**

**OBRA :** Tesista

**UBICACIÓN :** Guayaquil

**CONTRATISTA :** Kevin Villaruel Huerta y Bryan Moran Gavilanes

**FISCALIZADOR :** Universidad Laica Vicente Rocafuerte

Hoja 1 de 1  
ABC-RCC-001

CILINDRO No.	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	f <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Masa (g)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
										(Kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	%		
1	24/7/2024	31/7/2024	7	350	100	7854	3958	2403	19405	247,1	24,2	71%	5	Sin fibra Rev=mm Concretera
2	24/7/2024	7/8/2024	14	350	100	7854	3925	2383	24853	316,4	31,0	90%	2	
3	24/7/2024	21/8/2024	28	350	100	7854	3942	2393	27864	354,8	34,8	101%	6	
4	24/7/2024		T	350	100	7854								
5	24/7/2024	31/7/2024	7	350	100	7854	3805	2310	21032	267,8	26,3	77%	5	Con fibra Rev=mm Concretera
6	24/7/2024	7/8/2024	14	350	100	7854	3890	2361	26319	335,1	32,9	96%	3	
7	24/7/2024	21/8/2024	28	350	100	7854	3968	2409	28462	362,4	35,5	104%	3	
8	24/7/2024		T	350	100	7854								

Jefe de Laboratorio de Suelos

**GEOCIENTOS S.A.**

Anexo 3 diseño de Hormigón

**DISEÑO DE HORMIGÓN DE  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> CON FIBRA DE ACERO**

**CARACTERIZACIÓN AGREGADO GRUESO**

Tamaño Max Nominal	3/4"
G. Especifica	2576
D.S.S.S.	2654 Kg/m <sup>3</sup>
Absorción	3.1%
Humedad	0.40%
P.V.S.	1475 Kg/m <sup>3</sup>
P.V.V.	1590 Kg/m <sup>3</sup>

**CARACTERIZACIÓN AGREGADO FINO**

G. Especifica	2589
D.S.S.S.	2654 Kg/m <sup>3</sup>
Absorción	2.5%
Humedad	5.7%
P.V.S.	1387 Kg/m <sup>3</sup>
M. de Finura	2.3

**DISEÑO TEORICO ESPERADO**

$f'c$	350.0 Kg/cm <sup>2</sup>
Revenimiento esperado	10 a 15 cm
Relación A/C	0.38

**PESO DE MATERIALES EN 1m3 DE HORMIGÓN**

CEMENTO	540 Kg
AGUA	205 Lt
AGREGADO GRUESO	1015 Kg
AGREGADO FINO	595 Kg
ADITEC SF-106	4.5 Kg
FIBRA DE ACERO	25 KG
TOTAL	2385

**PESO DE MATERIALES PARA 1 SACO DE CEMENTO**

CEMENTO	50.0 Kg
AGUA	18.8 Lt
AGREGADO GRUESO	84.8 Kg
AGREGADO FINO	50.2 Kg
ADITEC SF-106	0.4 Kg
FIBRA DE ACERO	2.4 kg
TOTAL	207

Anexo 4 Evidencia fotográfica



Figura 15 Selección de aluminio reciclado



Figura 16 Procesamiento del aluminio reciclado



*Figura 17 Aplicación de fibras de acero*



*Figura 18 Aplicación de fibras de aluminio reciclado*



Figura 19 Llenado de los cilindros



Figura 20 Cubrimiento de los cilindros



Figura 21 Revestimiento de los cilindros



Figura 22 Fraguado de cilindros



Figura 23 Clasificación de los cilindros



Figura 24 Clasificación de los cilindros

*Figura 25 Secado de cilindros*



*Figura 26 Cilindros clasificados por días*

