



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**TEMA
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON
MACROFIBRA SINTÉTICA Y FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS**

**TUTOR
MSC. KARLA PAMELA CRESPO LEÓN**

**AUTORES
COLCHA FIGUEROA ALDAHIR SMITH
MARIDUEÑA BEJARANO PEDRO GASTON**

**GUAYAQUIL
2025**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS		
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Comportamiento mecánico del concreto con macrofibra sintética y fibras poliméricas recicladas.		
AUTOR/ES: Colcha Figueroa Aldahir Smith Maridueña Bejarano Pedro Gastón	TUTOR: Mgtr. Crespo León Karla Pamela	
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil	
FACULTAD: INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL	
FECHA DE PUBLICACIÓN: Marzo de 2025	N. DE PÁGS: 113	
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción.		
PALABRAS CLAVE: Hormigón, Fibra, Construcción, Mecánica.		
RESUMEN: El proyecto se enfoca en evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra sintética y fibra reciclada proveniente de botellas plásticas, con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas mediante el uso de materiales sostenibles. El objetivo principal del estudio fue analizar las propiedades que brindan estas fibras y determinar su influencia en la resistencia del concreto. Para ello, se realizaron a cabo ensayos de laboratorio en los que se midió la resistencia a la compresión y flexión, empleando distintas proporciones de fibra sintética y fibra reciclada de plástico. las muestras utilizadas para evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto a diferentes tiempos de fraguado (7, 14 y 28 días). Se evaluaron diversas combinaciones de fibras sintéticas y fibras recicladas de plástico en distintos porcentajes tales como 2,5 kg/ m³ y 5kg/m³. Los resultados mostraron que los ensayos de flexión, elaborada con macrofibra sintética, evidenció una mejora significativa desde la primera rotura registrada a los 7 días de curado, obteniendo a los 28 días casi un 40% más de resistencia en comparación con el hormigón convencional. En cuanto a los costos de producción de hormigón armado, se logró evidenciar en relación a los costos del hormigón tradicional más la microfibra sintética de 2.5 kg/m³ que es el 24% más elevado en relación a el hormigón tradicional con la fibra reciclada 2.5 kg/m³. En el caso del hormigón tradicional más la microfibra sintética de 5 kg/m³ es el 38% más elevado en relación a el hormigón tradicional con la fibra reciclada 5 kg/m³.		
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI ☒	NO ☐
CONTACTO CON AUTOR/ES: Colcha Figueroa Aldahir Smith Maridueña Bejarano Pedro Gastón	Teléfono:	E-mail: pmariduenab@ulvr.edu.ec acolchaf@ulvr.edu.ec

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

PhD. Marcial Sebastian Calero
Amores **Teléfono:** 2596500 **Ext.** 241
E-mail: mcalero@ulvr.edu.ec
Mgst. Jorge Enrique Torres Rodriguez.
Teléfono: 2596500 **Ext.** 242
E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE SIMILITUD

trabajo final Maridueña Colcha

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	8%	3%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.unach.edu.ec	3%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
3	es.scribd.com	1%
	Fuente de Internet	
4	revistas.udistrital.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.uns.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	ia802909.us.archive.org	1%
	Fuente de Internet	
7	Submitted to Universidad Cooperativa de Colombia	1%
	Trabajo del estudiante	



VERIFICAR DOCUMENTO EN
CARLA PARELA CRESPO
LEON

Excluir citas

Apagado

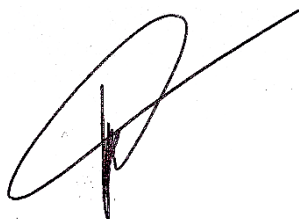
Excluir coincidencias < 1%

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados **Colcha Figueroa Aldahir Smith** y **Maridueña Bejarano Pedro Gastón**, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **Comportamiento mecánico del concreto con macrofibra sintética y fibras poliméricas recicladas**, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autores



Firma:

Colcha Figueroa Aldahir Smith

C.I. 0932276835



Firma:

Maridueña Bejarano Pedro Gastón

C.I.0923934459

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **Comportamiento mecánico del concreto con macrofibra sintética y fibras poliméricas recicladas**, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **Comportamiento mecánico del concreto con macrofibra sintética y fibras poliméricas recicladas**, presentado por los estudiantes **Colcha Figueroa Aldahir Smith y Maridueña Bejarano Pedro Gastón**, como requisito previo, para optar al Título de **Ingeniero Civil**, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



electrónicamente por:
LA PAMELA CRESPO LEON

Mgtr. Karla Pamela Crespo León

C.C. 0919203414

AGRADECIMIENTO

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarme en cada paso de este camino, por darme la paciencia en los momentos de dificultad y la claridad para seguir adelante. Gracias por concederme salud, oportunidades y personas maravillosas que han sido parte de este proceso. Sin Tu luz y Tu amor, este logro no habría sido posible. A Ti, Señor, entrego con gratitud el fruto de este esfuerzo.

A mi Padre, Juan Colcha ejemplo de perseverancia y valentía para trabajar por cada meta a cumplir. Gracias por mostrarme desde siempre, que la vida puede ser difícil, pero nunca imposible. Tus sacrificios, tu lucha diaria y tu determinación me han enseñado a no darme por vencido, incluso en los momentos más complicados. Eres mi mayor inspiración y la razón por la que hoy llego hasta aquí. Todo lo que soy y todo lo que he logrado, te lo debo a ti. Gracias por ser mi ejemplo, mi apoyo y mi mayor fortaleza.

DEDICATORIA

A mi padre, quien me ha enseñado cada día a luchar por mis sueños. Desde el momento en que le compartí mi decisión de estudiar esta carrera, no dudó en apoyarme y alegrarse por el desafío que estaba por asumir. A pesar de todas las adversidades a lo largo de este camino, su apoyo nunca faltó, y en cada momento fue mi guía incondicional para alcanzar este objetivo.

A mis hermanos, quienes me han inspirado diariamente a seguir aprendiendo y a convertirme en un ejemplo para ellos. Su apoyo incondicional y palabras de aliento me han brindado la motivación necesaria para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi madre y a mi abuela materna, pilares fundamentales en mi vida, cuyo amor, sabiduría y consejo han sido mi guía en cada paso de este camino. Su apoyo inquebrantable ha sido una fuente de fortaleza en los momentos en que más lo he necesitado.

Aldahir Colcha Figueroa

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta tesis. A mi papa y mama, que fueron fundamentales para dar forma a este trabajo.

A los profesores de la Universidad Laica Vicente Roca fuerte, por los conocimientos compartidos y el estímulo constante para alcanzar la excelencia. Agradezco a los docentes, por brindarme las herramientas y el respaldo necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Un reconocimiento especial a mis compañeros de estudio, con quienes compartí ideas, retos y aprendizajes que enriquecieron este proceso. Por último, mi gratitud infinita a Dios por la fortaleza y las oportunidades que me han permitido llegar a este momento. Este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo, y a todos ustedes les debo una parte de él.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, con profundo cariño y gratitud, a mi familia, quienes han sido mi pilar inquebrantable a lo largo de este camino. A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y las lecciones de perseverancia que me han guiado hasta aquí.

A mi hermana, por su apoyo y las palabras de aliento en los momentos de duda. Este trabajo es también para mis amigos cercanos, quienes con paciencia y comprensión me acompañaron en cada paso, convirtiendo los desafíos en oportunidades de crecimiento. Finalmente, lo dedico a mí mismo, como testimonio de esfuerzo, constancia y la convicción de que los sueños, con dedicación, se hacen realidad.

Pedro Maridueña Bejarano

RESUMEN

El proyecto se enfoca en evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra sintética y fibra reciclada proveniente de botellas plásticas, con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas mediante el uso de materiales sostenibles. El objetivo principal del estudio fue analizar las propiedades que brindan estas fibras y determinar su influencia en la resistencia del concreto. Para ello, se realizaron a cabo ensayos de laboratorio en los que se midió la resistencia a la compresión y flexión, empleando distintas proporciones de fibra sintética y fibra reciclada de plástico. las muestras utilizadas para evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto a diferentes tiempos de fraguado (7, 14 y 28 días). Se evaluaron diversas combinaciones de fibras sintéticas y fibras recicladas de plástico en distintos porcentajes tales como 2.5 kg/m^3 y 5 kg/m^3 . Los resultados mostraron que los ensayos de flexión, elaborada con macrofibra sintética, evidenció una mejora significativa desde la primera rotura registrada a los 7 días de curado, obteniendo a los 28 días casi un 40% más de resistencia en comparación con el hormigón convencional. En cuanto a los costos de producción de hormigón armado, se logró evidenciar en relación a los costos del hormigón tradicional más la microfibra sintética de 2.5 kg/m^3 que es el 24% más elevado en relación a el hormigón tradicional con la fibra reciclada 2.5 kg/m^3 . En el caso del hormigón tradicional más la microfibra sintética de 5 kg/m^3 es el 38% más elevado en relación a el hormigón tradicional con la fibra reciclada 5 kg/m^3 .

Palabras clave: Hormigón, Fibra, Construcción, Mecánica.

ABSTRACT

The project focused on evaluating the mechanical behavior of concrete reinforced with synthetic fiber and recycled fiber from plastic bottles, with the purpose of improving its mechanical properties through the use of sustainable materials. The main objective of the study was to analyze the properties provided by these fibers and determine their influence on the strength of the concrete. To do this, laboratory tests were carried out in which the compressive and flexural strength was measured, using different proportions of synthetic fiber and recycled plastic fiber. The samples used to evaluate the mechanical and durability properties of the concrete at different setting times (7, 14 and 28 days). Various combinations of synthetic fibers and recycled plastic fibers were evaluated in different percentages such as 2.5kg/m^3 and 5kg/m^3 ensuring adequate representation for a robust statistical analysis. Various combinations of synthetic fibers and recycled plastic fibers were evaluated in different percentages such as 2.5 kg/m^3 and 5kg/m^3 . The results showed that the bending tests, made with synthetic macrofiber, showed a significant improvement from the first fracture recorded after 7 days of curing, obtaining almost 40% more resistance at 28 days compared to conventional concrete. Regarding the production costs of reinforced concrete, it was possible to demonstrate in relation to the costs of traditional concrete plus the 2.5 kg/m^3 synthetic microfiber that it is 24% higher in relation to traditional concrete with the 2.5 kg/m^3 recycled fiber. In the case of traditional concrete plus 5 kg/m^3 synthetic microfiber, it is 38% higher in relation to traditional concrete with 5 kg/m^3 recycled fiber.

Keywords: Concrete, Fiber, Construction, Mechanics.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
ENFOQUE DE LA PROPUESTA	3
1.1 Tema.....	3
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Formulación del Problema	4
1.4 Objetivo General	4
1.5 Objetivos Específicos.....	5
1.6 Idea a Defender	5
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO REFERENCIAL.....	6
2.1 Marco Teórico	6
2.1.1. Concreto reforzado con fibras.....	6
2.1.2. Macro fibras sintéticas y fibras poliméricas recicladas	13
2.1.2.1. Tipos de fibras sintéticas utilizadas en el concreto	13
2.1.3. Propiedades mecánicas del concreto con fibras.....	18
2.1.4. Factores que afectan el desempeño del concreto con fibras.....	19
2.1.5. Casos de estudio	21
2.2 Marco Legal	24
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 2008	24
2.2.2. INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización).....	25
2.2.2.1 NEC INEN 696:2011 - Determinación de la Graduación de los Materiales como Áridos para Hormigón	26
2.2.2.2 NEC INEN 0872:2011 Requisitos para los Áridos en la Preparación de Hormigones	27

2.2.2.3 NEC INEN 1573:2010 - Metodología de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico	28
3.1 Enfoque de la investigación	30
3.2 Alcance de la investigación	31
3.3 Población y muestra	31
3.4 Técnica e instrumentos para obtener los datos	32
3.4.1 Técnica	32
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos	33
Procedimiento de recolección de datos	40
CAPÍTULO IV	43
PROPUESTA O INFORME	43
4.1 Presentación y análisis de resultados	43
4.1.1. Caracterización los materiales de la mezcla del hormigón mediante ensayos físicos.	43
4.1.2. Determinación de las cantidades de agregados para el diseño de un hormigón 280kg/cm ² , uno de tipo convencional y dos con adición de fibras.	51
4.1.3. Cálculo de la resistencia a la flexión y compresión de un hormigón convencional y uno reforzado con fibras.	53
4.1.4. Comparación los resultados de la resistencia y evaluar la viabilidad del costo.	71
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de macrofibras	9
Tabla 2. Ficha técnica TUF-STRAND SF.....	14
Tabla 3. Muestra de probetas en vigas	32
Tabla 4. Muestra de probetas cilindros	32
Tabla 5. Agregado fino	44
Tabla 6. Agregado grueso 3/4.....	46
Tabla 7. Características de los agregados	49
Tabla 8. Dosificación para el diseño de hormigón 280 kg/cm ² para 1m ³	52
Tabla 9. Dimensiones de probetas a compresión	54
Tabla 10. Resistencia de probetas a la compresión hormigón tradicional.....	55
Tabla 11. Resistencia de probetas a la compresión hormigón con 2,5Kg de fibra sintética	59
Tabla 12. Resistencia de probetas a la compresión hormigón con 5Kg de fibra sintética	60
Tabla 13. Resistencia de probetas a la compresión hormigón con 2,5Kg de fibra reciclada.....	61
Tabla 14. Resistencia de probetas a la compresión hormigón con 5Kg de fibra reciclada.....	62
Tabla 15. Dimensiones de probetas a flexión	63
Tabla 16. Resistencia de probetas a la flexión hormigón tradicional.....	64
Tabla 17. Resistencia de probetas a la flexión hormigón con 2,5Kg de fibra sintética	66
Tabla 18. Resistencia de probetas a la flexión hormigón con 5Kg de fibra sintética	67
Tabla 19. Resistencia de probetas a la flexión hormigón con 2,5Kg de fibra reciclada	69
Tabla 20. Resistencia de probetas a la flexión hormigón con 5Kg de fibra reciclada	70
Tabla 21. Dosificación de hormigón 280kg/cm ²	77
Tabla 22. Costo de hormigón con la adición de fibra sintética y reciclada	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aditivo para el concreto.....	34
Figura 2. Clasificación del material	37
Figura 3. Macrofibras sintéticas	38
Figura 4. Balanza electrónica.....	39
Figura 5. Prensa hidráulica	40
Figura 6. Esquema metodológico.....	42
Figura 7. Curva granulométrica de agregado fino	45
Figura 8. Stock de agregado fino	45
Figura 9. Curva granulométrica de agregado grueso	47
Figura 10. Stock de agregado grueso	48
Figura 11. Fibra reciclada utilizada en la mezcla	50
Figura 12. Macrofibra sintética utilizada en la mezcla.....	51
Figura 13. Elaboración de los cilindros.....	53
Figura 14. Compresión de probetas.....	57
Figura 15. Resistencia a flexión de probetas	65
Figura 16. Curva de ensayo a compresión.....	73
Figura 17. Curva de ensayos a flexión	75

INDICE ANEXOS

Anexo 1. Diseño de Hormigón 280kg/cm ²	89
Anexo 2. Ensayo de rotura a la flexión del hormigón tradicional	90
Anexo 3. Ensayo de rotura a la compresión del hormigón con 2,5kg de fibra sintética	91
Anexo 4. Ensayo de rotura a la compresión del hormigón con 5kg de fibra sintética	92
Anexo 5. Ensayo de rotura a la compresión del hormigón con 2,5kg de fibra reciclada	93
Anexo 6. Ensayo de rotura a la compresión del hormigón con 5kg de fibra reciclada	94
Anexo 7. Ensayo de rotura a la flexión del hormigón con 2,5kg de fibra sintética....	95
Anexo 8. Ensayo de rotura a la flexión del hormigón con 5kg de fibra sintética.....	96
Anexo 9. Ensayo de rotura a la flexión del hormigón con 2,5kg de fibra reciclada ..	97
Anexo 10. Ensayo de rotura a la flexión del hormigón con 5kg de fibra reciclada ...	98

INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción a nivel nacional, por este motivo es objeto de investigaciones con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas.

En los últimos años, la inclusión de fibras en el hormigón se ha convertido en una estrategia efectiva para optimizar el comportamiento mecánico del hormigón. En el mercado hay diferentes tipos de fibras empleadas como la macrofibra sintética que proporciona mejor resistencia a flexión. Por otro lado, las fibras poliméricas recicladas representan otra opción prometedora en el marco de reutilización de residuos plásticos si se lo añade a la mezcla de hormigón.

La preocupación por el impacto ambiental se ha incrementado en la industria de la construcción, a la par de la necesidad de crear materiales más eficientes y sostenibles. Esta necesidad impulsa a el estudio de alternativas innovadoras que son determinadas por el desempeño estructural y responsabilidad ecológica.

En este escenario, la utilización de fibras poliméricas recicladas colabora en la reducción de residuos plásticos y presenta la posibilidad de diseñar hormigones con propiedades mecánicas competitivas contra los materiales convencionales. No obstante, la inclusión de este tipo de materiales en el hormigón apuesta a la compatibilidad, distribución homogénea en la mezcla, y su efecto a largo plazo, a razón de esto se exige un análisis completo de su comportamiento mecánico.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con macro fibras sintéticas y fibras poliméricas recicladas, analizando variables como la resistencia a la compresión y tracción. A través de los ensayos realizados. Se busca determinar el aporte de estas fibras al desempeño mecánico del hormigón, además de contribuir al conocimiento científico en el ámbito de los materiales reciclados, y ofrecer una base para el desarrollo de soluciones constructivas sostenibles que respondan a las demandas del presente y del futuro.

En el primer capítulo, se abarca la problemática del tema, incluyendo el diseño de la investigación, la formulación del problema, el objetivo general y los objetivos específicos, la hipótesis, y la línea de investigación.

En el segundo capítulo, se desarrollará el marco referencial y el marco legal, proporcionando así una base teórica de trabajos similares para el análisis.

En el tercer capítulo, se detallarán los aspectos relacionados con el marco metodológico, en donde se incluye el enfoque de la investigación, su alcance, las técnicas y los instrumentos que se utilizarán para recopilar datos, y proporcionar una descripción de la población y muestra.

En el cuarto capítulo, se desarrollan los resultados de la investigación que luego del análisis permiten llegar a las conclusiones y recomendaciones de este estudio que marcan una guía para trabajos similares en el futuro.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema

Comportamiento mecánico del concreto con macrofibra sintética y fibra polimérica reciclada

1.2 Planteamiento del Problema

En la industria de la construcción, el concreto es uno de los materiales más utilizados debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad. Las construcciones de concreto han demostrado su durabilidad a lo largo del tiempo, además han destacado su menor variación de temperatura lo cual permite diseñar equipos de ventilación, calefacción y aire acondicionado con capacidades más reducidas. Sin embargo, es creado a partir del consumo de recursos naturales.

La fabricación de plástico apareció a principios del siglo XX. Sin embargo, desde su aparición, la producción de plástico ha crecido exponencialmente, pasando de 2 millones anuales a más 460 millones en los últimos 5 años (Aguirre, Yuquilema, & Salazar, 2020). Esto supone un total de más 9.500 millones de toneladas métricas de plástico, de las que aproximadamente 7.000 millones ya se han convertido en residuos. No es tan sorprendente si tenemos en cuenta que hasta el 50% de todos los plásticos producidos cada año se fabrican como productos de un solo uso. Como consecuencia de ser fabricados para un solo uso, estos desechos suelen ser incinerados o enviados a vertederos, generando impactos negativos en el medio ambiente. (Aguirre, Yuquilema, & Salazar, 2020)

Los plásticos tardan alrededor de 180 años en degradarse y son utilizados en las industrias, en la vida cotidiana son productos con una limitada capacidad de autodestrucción, en consecuencia, quedan durante muchos años como residuos (Aguirre et al., 2020).

Se resalta la importancia de integrarlos en productos como el concreto, ya que, al estar compuestos principalmente por polímeros, pueden mejorar la adherencia entre los agregados y el cemento durante el proceso de mezcla. Esto no solo reduce el impacto ambiental asociado a la disposición de plásticos, sino que

también permite desarrollar un material más sustentable. (Guerrero & Echeandía, 2023)

La contaminación plástica representa el 85% de la polución en los océanos, y se estima que para el 2040, la cantidad de plásticos en el mar se triplicará, alcanzando los 50 kg por metro de costa. La principal preocupación radica en la durabilidad de los residuos plásticos, lo que dificulta su descomposición.

En Ecuador, entre la aparición del plástico y el 2015, se generaron aproximadamente 6300 millones de toneladas de desechos plásticos. De este total, solo el 9% fue reciclado, el 12% se incineró y el 79% terminó en vertederos o en el ambiente. Este patrón revela un consumo insostenible y problemas graves en la gestión de residuos. La industria de empaques plásticos emplea un 98% de recursos no renovables y recicla solo el 5% de su producción total (Conopoima, 2022).

Anualmente, los efectos negativos de la contaminación plástica se incrementan, provocando daños más evidentes y afectando a un mayor número de personas. Los impactos más alarmantes incluyen la degradación de ecosistemas naturales, la emisión de gases de efecto invernadero durante la producción e incineración de plásticos y los efectos dañinos para la salud causados por micro y nanoplásticos. No obstante, la problemática se centra en que a pesar de que la inclusión de fibra polimérica reciclada en la mezcla de concreto disminuiría el impacto ambiental, a su vez el concreto debe cumplir con una mejora sus propiedades mecánicas y garantizar durabilidad del material antes de adoptarlo como un sustituto de la fibra comercial.

1.3 Formulación del Problema

¿De qué forma influye agregar la microfibra sintética y la fibra polimérica reciclada en la mezcla de hormigón tradicional?

1.4 Objetivo General

Analizar el comportamiento mecánico del hormigón tradicional y uno agregando fibra polimérica reciclada y macrofibra sintética dentro de la mezcla.

1.5 Objetivos Específicos

- Caracterizar los materiales de la mezcla del hormigón mediante ensayos físicos.
- Determinar las cantidades de materiales para el diseño de un hormigón 280 kg/cm² convencional y uno con adición de fibras.
- Calcular la resistencia a la flexión y compresión de un hormigón convencional y uno reforzado con fibras.

1.6 Idea a Defender

El uso de la fibra reciclada en el hormigón esta positivamente relacionado con una mejora en su comportamiento mecánico.

1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Territorio, medio ambiente e innovadores materiales para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1. *Concreto reforzado con fibras*

Según la norma ACI 116R-00, el Hormigón Reforzado con Fibra (HRF) es una mezcla que incluye cemento hidráulico, agua, agregados finos y gruesos, aditivos, adiciones y fibras distribuidas aleatoriamente. Las fibras, que pueden ser naturales o artificiales dependiendo de su origen, se incorporan para reforzar la masa del cemento, aumentando la resistencia a la tracción, reduciendo la fisuración y mejorando la tenacidad al transmitir esfuerzos a través de las secciones fisuradas. Además, la incorporación de fibras disminuye los efectos de la retracción por fraguado y aumenta la resistencia al impacto y a la fatiga (Barboza & Burga, 2023).

El hormigón con adición de fibras de polipropileno posee diversas propiedades mejoradas. Entre ellas, se encuentra el refuerzo tridimensional, la prevención de hundimientos y fisuras en etapas tempranas, así como el control de la formación de grietas en etapas avanzadas. Además, incrementa la resistencia a impactos, cargas repetitivas y vibraciones, y previene el deslizamiento en planos inclinados y verticales. También reduce la permeabilidad y aumenta la resistencia frente a factores abrasivos y corrosivos (Asto & Quiroz, 2021).

Estudios efectuados por Oblitas y Villar (2021), describen el desarrollo de varias pruebas experimentales sobre los estados fresco y endurecido del concreto utilizando fibras híbridas de polipropileno y añadiendo fibras de acero reciclado (FAR), cuya longitud media de los FAR era de 50 mm y diámetros de 0.15 mm y 0.5 mm. Donde el porcentaje de FAR utilizados fueron de 0.35%, 0.7% y 1.05% del peso específico del concreto. Los resultados finales mostraron que la adición de acero reciclado mejoró la resistencia a la compresión (RC) del concreto en comparación con las fibras de polipropileno. Sin embargo, la inclusión de fibras de polipropileno, en comparación con las fibras recicladas, presentó una mayor mejora en la resistencia a la flexión (RF) del concreto.

El uso de fibras vegetales es fundamental, ya que les permite soportar esfuerzos de tracción y mejorar su cohesión, evitando la aparición de fisuras. La incorporación de fibras naturales como parte de materiales aglomerantes o de relleno no es una práctica reciente, sino que se ha utilizado durante siglos. Uno de los usos más difundidos de las fibras en materiales aglomerantes ha sido en productos como las tejas y los prefabricados de asbesto-cemento.

En estos casos, las fibras de asbesto otorgaban resistencia y cohesión al material, aunque con el tiempo fueron reemplazadas por otras alternativas más seguras debido a los riesgos para la salud asociados con el asbesto. En el antiguo Egipto, se añadía paja a la arcilla para fabricar ladrillos, lo que mejoraba su resistencia y facilitaba su manipulación tras el secado al sol.

Durante siglos, materiales naturales como pasto, junco y pelo animal se han incorporado al adobe para reducir su tendencia a agrietarse y mejorar su resistencia a los esfuerzos de tracción (Torres, 2017).

Amaya y Ramírez (2019) señalan que el concreto con dosificaciones de fibras se emplea en la construcción como una alternativa al concreto convencional. Se utilizan fibras de acero (según la norma NSR-10) y otros materiales, como fibras de vidrio, sintéticas y naturales. Las macrofibras en el concreto son importantes porque previenen el fisuramiento del concreto endurecido y reducen el ancho de las fisuras si se presentan. Además, mejoran la tenacidad del concreto, permitiendo que soporte cargas incluso después de fisurarse.

Zamorano (2018) demostró que las macrofibras de polipropileno pueden sustituir a la malla electro-soldada en pavimentos industriales, mediante un análisis comparativo técnico-económico de ambos componentes de refuerzo.

Elorza (2015) indicó que las fibras de polipropileno son efectivas para controlar la fisuración en muestras expuestas a alta evaporación durante el inicio del curado. Sin embargo, no hay información específica sobre el desempeño de este concreto frente a la penetración de agua y sales solubles, especialmente en cuanto a la resistencia a iones cloruro.

Torres (2017) explica que el concreto, al igual que otros materiales de construcción, se expande y contrae con los cambios de temperatura y humedad, deformándose según la carga y las condiciones de apoyo. Cuando se fisura, el concreto pierde gran parte de su capacidad de resistencia debido a la pérdida de monolitismo y continuidad de su masa, limitando la capacidad de la estructura para soportar la carga de servicio diseñada.

Actualmente, es posible recuperar gran parte de la capacidad de carga del concreto fisurado mediante el uso de macrofibras sintéticas estructurales, que se adicionan en un porcentaje o dosificación en volumen. Estas fibras actúan como un puente o transferencia de carga en miles de puntos a lo largo de la fisura, asumiendo los esfuerzos hasta el límite del material.

Sanes (2017) realizó un extenso estudio teórico, práctico y estadístico sobre el comportamiento de los materiales y su influencia en la resistencia del concreto. Además, investigó los efectos de la adición de microsílíce y polipropileno en las mezclas de concreto y cómo estas adiciones afectan la resistencia final. Para asegurar la validez de los resultados, se empleó una metodología mixta.

Se recopiló información preliminar para la producción de las muestras, incluyendo diseños de mezcla, propiedades de los materiales y la formulación del modelo experimental. Luego, se produjeron las muestras, se realizaron experimentos y ensayos para obtener y analizar los resultados.

Las macrofibras sintéticas son fibras plásticas de gran tamaño (generalmente de más de 3 cm de longitud), elaboradas a partir de materiales como polipropileno, nylon o poliéster. Estas fibras se incorporan a la mezcla de concreto para mejorar sus características mecánicas, tales como la resistencia a la tracción, flexión y la prevención de fisuras. A diferencia de las microfibras, las macrofibras son más gruesas, lo que les permite ofrecer mayor capacidad de refuerzo en el material (Ortiz & Oyola, 2023). A continuación, se detallan los tipos de macrofibras (Tabla 1).

Tabla 1.

Tipos de macrofibras

Fibras de polipropileno

- Son las más comunes debido a su bajo costo, alta resistencia a la corrosión y facilidad de distribución en la mezcla de concreto.

Fibras de PET reciclado

- Recientemente se han comenzado a utilizar las fibras provenientes de botellas PET recicladas, lo que no solo mejora las propiedades mecánicas del concreto, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir los residuos plásticos.

Fuente: Ortiz y Oyola (2023)

La incorporación de estas fibras sintéticas al concreto permite mejorar su comportamiento bajo cargas dinámicas, pues distribuyen las tensiones a lo largo del material, evitando que se concentren en puntos específicos que puedan generar fisuras (Campoy et al., 2021).

Rojas (2017) realizó un ensayo de laboratorio comparando la tenacidad del concreto estándar con el concreto reforzado con fibras. Los resultados indicaron que un mayor porcentaje de macrofibras en el concreto incrementa su resistencia a la tenacidad, como se refleja en la energía de la curva de resistencia.

Dolores (2019) evaluó la tenacidad del concreto con fibras macro sintéticas, empleando adiciones de entre 5 kg/cm³ y 7 kg/cm³. Después de un curado de 7 días, la tenacidad aumentó en un 35.86%.

Carhuapoma (2018) llevó a cabo ensayos de resistencia a compresión en muestras de concreto con material de la cantera Cochamarca - Pasco. Los resultados mostraron variaciones en la resistencia, tanto en aumento como en disminución, durante diferentes etapas de curado a los 7, 14 y 28 días.

Ruiz (2019) evaluó el uso de fibras sintéticas en concreto para pavimentos rígidos, analizando tres tipos de fibras estructurales: reciclada, virgen y yute. El objetivo principal de la investigación fue examinar tres aditivos empleados en concreto hidráulico de pavimentos y determinar su resistencia residual en ensayos de flexión.

El estudio evaluó las propiedades mediante una carga estimada, utilizando una dosis de 8 kg/m³ de aditivo.

Los hormigones y morteros de cemento se caracterizan por su alta resistencia a la compresión, aunque tienen baja resistencia a la tracción. Para mejorar esta debilidad, se refuerzan con armaduras de acero, lo que proporciona un soporte continuo y efectivo para los esfuerzos de tracción, siendo de gran utilidad en la construcción de obras civiles (Barboza & Burga, 2023).

2.1.1.1. Ventajas y aplicaciones del uso de fibras sintéticas en el concreto

Ventajas

Las ventajas de las macrofibras sintéticas abarcan aspectos técnicos y económicos que las hacen una opción atractiva en diversas aplicaciones de construcción (Clarke et al., 2022).

Los beneficios de las macrofibras sintéticas son clave para la optimización del comportamiento del concreto, sobre todo en aplicaciones que requieren alta durabilidad y resistencia (Gómez et al., 2025). A continuación, se amplían los beneficios más destacados:

Mejora de la tenacidad: La tenacidad del concreto hace referencia a su capacidad para resistir la fractura tras una fisura inicial. Las macrofibras sintéticas actúan como refuerzos internos en la estructura del concreto, ayudando a que el material mantenga su cohesión incluso después de que aparezcan fisuras. Esto es especialmente importante en zonas sísmicas o en pavimentos sometidos a cargas repetidas (Pira, 2022).

Reducción de fisuras: El concreto puede sufrir fisuración por retracción (cuando el agua se evapora y el concreto se contrae) o por expansión térmica (cuando hay variaciones de temperatura). Las fibras sintéticas ayudan a distribuir las tensiones que causan las fisuras. Esto no solo mejora la apariencia estética del concreto, sino que también aumenta su durabilidad al prevenir la propagación de fisuras que puedan afectar su integridad estructural (Maurello et al., 2020).

Aumento de la durabilidad: Las macrofibras sintéticas incrementan la resistencia del concreto a varios factores ambientales, como la corrosión, la abrasión y el ataque químico. Al no ser susceptibles a la oxidación como las fibras de acero, las fibras sintéticas contribuyen a que el concreto mantenga sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo, incluso en ambientes agresivos como áreas marinas o con exposición a productos químicos (Campos & Sánchez, 2025).

Mejor comportamiento post-fisuración: Una de las principales ventajas de las fibras sintéticas es su capacidad para controlar el comportamiento del concreto después de que se inicia una fisura. En lugar de que el concreto pierda completamente su capacidad de carga, las fibras actúan como un refuerzo adicional, ayudando a distribuir las tensiones y retrasando el colapso estructural (Saavedra, 2025).

Facilidad de manejo e incorporación: Las macrofibras sintéticas son más fáciles de manejar en comparación con las fibras de acero, ya que tienen un peso menor y no requieren equipos especiales para su distribución en la mezcla de concreto. Pueden ser mezcladas directamente en el concreto en el sitio de la obra sin necesidad de procedimientos adicionales, lo que hace el proceso más ágil y eficiente (Rojas, 2023).

Bajo costo y accesibilidad: A diferencia de otras soluciones de refuerzo como las fibras metálicas, las macrofibras sintéticas (especialmente las de PET reciclado o polipropileno) son más económicas, lo que reduce los costos de producción del concreto. Además, las fibras sintéticas son ampliamente accesibles en el mercado, lo que facilita su integración en proyectos de diferentes escalas y presupuestos (Álvarez & Silva, 2020).

Resistencia a la corrosión: Las fibras metálicas pueden corroerse con el tiempo, especialmente en ambientes con humedad o exposiciones salinas. Por el contrario, las macrofibras sintéticas no sufren de este problema, lo que las hace ideales para proyectos de largo plazo y en zonas donde se prevé que el concreto esté expuesto a condiciones corrosivas (como en pavimentos de carreteras cercanas al mar) (Vallejo, 2021).

Aplicaciones en pavimentos y estructuras de gran durabilidad: Las macrofibras sintéticas son una opción excelente para pavimentos rígidos, ya que mejoran la resistencia a las cargas y a las tensiones térmicas que sufren estos elementos. En concreto para pavimentación, estas fibras ayudan a reducir las fisuras y mejorar la capacidad de carga sin comprometer la durabilidad de la estructura (Vallejo, 2021).

Usos

Las macrofibras sintéticas tienen una amplia gama de usos en diferentes tipos de proyectos de construcción (Rojas, 2023). A continuación, se detallan algunos de los principales usos:

Concreto de pavimentos: Las macrofibras sintéticas se utilizan ampliamente en pavimentos rígidos. Estos pavimentos deben resistir cargas dinámicas y deformaciones térmicas. Las fibras ayudan a distribuir mejor las tensiones, evitando fisuras y aumentando la durabilidad de la superficie (Rojas, 2023).

Concreto de alta durabilidad: El uso de macrofibras sintéticas es esencial en zonas con condiciones ambientales extremas. Por ejemplo, en concreto expuesto a agua salada o productos químicos agresivos, las fibras ayudan a mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste, asegurando una mayor vida útil de las estructuras (Rojas, 2023).

Estructuras prefabricadas: en la fabricación de elementos de concreto prefabricado (como paneles de pared o losas), las macrofibras sintéticas proporcionan una mayor tenacidad y resistencia en los productos finales. Las fibras permiten que los elementos prefabricados resistan mejor el transporte y la instalación, así como el uso continuo (Rojas, 2023).

Concreto permeable: Las macrofibras sintéticas también se emplean en concreto permeable para aplicaciones de drenaje en áreas urbanas. Este tipo de concreto permite el paso de agua a través de la superficie, reduciendo la escorrentía y promoviendo la recarga de acuíferos. Las fibras mejoran la cohesión del concreto, lo que evita la desintegración bajo condiciones de alto flujo de agua (Rojas, 2023).

2.1.2. Macro fibras sintéticas y fibras poliméricas recicladas

2.1.2.1. Tipos de fibras sintéticas utilizadas en el concreto

Las fibras sintéticas se fabrican de materiales tales como acrílico, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. En general, las fibras sintéticas se caracterizan por tener elevada resistencia a la tensión y, entre ellas, se definen dos categorías: las de alto y las de bajo módulo de elasticidad (Mendoza, 2011).

Entre los tipos de fibras sintéticas tenemos las siguientes:

- Microfibra sintética
- Macrofibra sintética

La microfibra sintética es de tipo monofilamento, no fibrilada, totalmente orientada, con un perfil que permite anclarla a la matriz cementicia (Mendoza, 2011).

Las macrofibras son componentes que se incorporan al hormigón con el fin de mejorar tanto su durabilidad como sus propiedades mecánicas. Esto se logra porque estas fibras están fabricadas con materiales sintéticos capaces de soportar la alcalinidad del hormigón y las condiciones ambientales adversas (Asto & Quiroz, 2021).

2.1.2.2. Características de las fibras poliméricas recicladas

Son fibras sintéticas producidas a partir de materiales plásticos reciclados, como polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP) o fibras derivadas de neumáticos reciclados. Estas fibras se utilizan como aditivos en concreto, mejorando las propiedades mecánicas de las estructuras. El uso de material reciclado en la fabricación de estas fibras contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la cantidad de desechos plásticos en los vertederos y reutilizar materiales que, de otro modo, no se aprovecharían (Ávila & Parrilla, 2021).

Entre los tipos más comunes se describen los siguientes: fibra de PET reciclada, obtenida principalmente de botellas plásticas recicladas; fibra de polipropileno reciclado, generalmente derivada de envases plásticos; y fibra de neumático reciclado, realizado de los compuestos plásticos provenientes de neumáticos fuera de uso. La incorporación de estas fibras en el concreto puede alterar

la estructura del material de forma que aumenta su resistencia y durabilidad (Valipour et al., 2021).

2.1.2.3. Propiedades físicas y químicas de ambos tipos de fibra

El PET es un polímero termoplástico elaborado a partir de derivados del petróleo, gas y aire, con proporciones aproximadas de 64%, 23% y 13%, respectivamente. En su proceso de producción, el petróleo proporciona paraxileno, que se oxida con aire para formar ácido tereftálico (PTA), mientras que el gas natural suministra etileno, el cual se oxida con aire para obtener etilenglicol (EG). Este material pertenece a la familia de los poliésteres sintéticos y tiene una estructura química característica (Torres, 2017).

En su ficha técnica la macrofibra sintética TUF-STRAND SF es una macrofibra de origen sintético compuesta de una mezcla autofibrilante de polipropileno/polietileno, las cuales se encuentran patentadas y se utilizan para reemplazar exitosamente a las fibras de acero, el refuerzo de malla de acero electrosoldada y las varillas de refuerzo convencionales en una amplia variedad de aplicaciones. Sus características se muestran en la Tabla 2 (EUCOMEX, 2023).

Tabla 2.

Ficha técnica TUF-STRAND SF

Material	Polipropileno/ Polietileno
Gravedad específica	0.92
Tasa de dosificación típica	1.8 a 12 kg/m ³ (3 a 20 lb/yd ³)
Longitud disponible	51 mm (2")
Relación de aspecto	74
Resistencia a la tensión	600 – 650 MPa (87 – 94 ksi)
Modelo de elasticidad (EN 14889.2)	9.5 GPa (1380 ksi)
Punto de ignición (ASTM D-1929)	330°C (625°F)
Conductividad eléctrica	Baja
Absorción de agua	Despreciable
Resistencia a ácidos y álcalis	Excelente
Color	Blanco

Fuente: Euclid Chemical Eucomex (2023).

Las fibras de tereftalato de polietileno (PET) destacan por su notable resistencia frente a condiciones ambientales adversas, incluyendo temperaturas de congelación, procesos de corrosión y la lixiviación química. Estas fibras también se caracterizan por un coeficiente de fricción reducido y un módulo de flexión elevado, lo que las hace adecuadas para aplicaciones donde se requiere estabilidad mecánica bajo esfuerzos variables. Químicamente, el PET se representa con la fórmula $(C_{10}H_8O_4)_n$ y se obtiene a partir de reacciones de polimerización entre el etilenglicol y el ácido tereftálico, ambos derivados del petróleo, lo que lo vincula a una cadena de producción industrial basada en recursos fósiles.

Las propiedades físicas y mecánicas de estas fibras incluyen una alta resistencia a la tracción y una densidad moderada, lo que las hace compatibles con matrices de concreto. En cuanto a su fabricación a partir de botellas plásticas recicladas, las botellas recolectadas se cortan manualmente con una guillotina en tiras de 2-3 mm de ancho y 30 mm de largo (Cáceres, 2024).

2.1.2.4. Influencia de la geometría, dosificación y distribución de las fibras en la matriz del concreto

Para evaluar las propiedades del hormigón, se ha propuesto un enfoque sistemático que incluye pruebas mecánicas como ensayos de flexión en probetas prismáticas con ranuras, pruebas de tracción y experimentos de corte puro para analizar el concreto reforzado con fibras estructurales. Además, se han investigado el comportamiento en estado fresco y la absorción de agua de un concreto elaborado con residuos de baldosas cerámicas como áridos finos y fibras de tereftalato de polietileno (PET) obtenidas de botellas recicladas. Los residuos cerámicos se usaron como sustituto del agregado fino en proporciones del 50% y 100% (en peso del agregado fino), mientras que las fibras plásticas se añadieron en proporciones del 1.5% y 2.5% (en peso total de la mezcla de hormigón) (Pérez, 2022).

Los resultados mostraron que la incorporación de fibras plásticas y residuos cerámicos redujo el asentamiento, lo que disminuye la trabajabilidad del concreto fresco. La mezcla con un 100% de áridos cerámicos finos y un 2.5% de fibras plásticas presentó la mayor resistencia a la compresión. Además, la resistencia a la tracción

mejoró con tiempos de curado más largos. En general, la resistencia a la tracción del hormigón aumentó hasta en un 45% al usar un 100% de agregados cerámicos como reemplazo del agregado fino y un 2.5% de fibras plásticas en la mezcla, aunque la absorción de agua del material disminuyó conforme aumentaba la cantidad de cerámica y fibras plásticas (Pérez, 2022).

2.1.2.5. Ventajas y aplicaciones del uso de fibras recicladas en el concreto

Ventajas

Las fibras poliméricas recicladas ofrecen una alternativa innovadora y sostenible en la industria de la construcción, especialmente en el diseño de mezclas de concreto. Entre sus principales beneficios se destaca la capacidad de mejorar las propiedades mecánicas del concreto, como su resistencia a la tracción, flexión y durabilidad, al tiempo que contribuyen a la reducción de residuos plásticos en el medio ambiente. Estas fibras, obtenidas de materiales reciclados como botellas de PET, no solo permiten una mayor sostenibilidad en los proyectos de construcción, sino que también ayudan a disminuir el uso de fibras convencionales y optimizan el comportamiento estructural del concreto en diversas aplicaciones, promoviendo un enfoque más ecológico y eficiente en la gestión de recursos (Valipour et al., 2021).

Mejora de la resistencia a la compresión y tracción: Pueden mejorar la resistencia a la compresión del concreto, principalmente en mezclas con un $f'c$ de 210 kg/cm². Este tipo de aditivo mejora la cohesión interna de la mezcla, ayudando a distribuir las tensiones de manera más uniforme y evitando la aparición prematura de fisuras (Ávila & Parrilla, 2021).

Durabilidad mejorada: la durabilidad se provee al prevenir la formación de fisuras por retracción o cambios térmicos. Estas fibras tienen propiedades que les permiten absorber las tensiones generadas en condiciones extremas (cambios de temperatura, humedad o ataques químicos), prolongando la vida útil de las estructuras (Ávila & Parrilla, 2021).

Sostenibilidad: Al estar fabricadas a partir de materiales reciclados, las fibras poliméricas recicladas contribuyen a la reducción de residuos plásticos y la minimización del impacto ambiental. Este beneficio es especialmente relevante en un contexto global donde la economía circular y el reciclaje son cada vez más promovidos como prácticas industriales sostenibles (Ávila & Parrilla, 2021).

Reducción de costos: La disponibilidad y bajo costo de materiales reciclados como PET, PP o neumáticos reciclados, hace que la producción de fibras recicladas sea más económica que la de fibras vírgenes. Esto se traduce en un ahorro significativo en la fabricación de concreto reforzado con fibras, reduciendo el costo global del proyecto sin sacrificar la calidad del material (Ávila & Parrilla, 2021).

Mejora del comportamiento post-fisuración: Cuando el concreto se fisura, las fibras recicladas ayudan a mantener la cohesión y a reducir la propagación de las fisuras, aumentando la seguridad estructural. Este efecto es particularmente valioso en estructuras que estarán sometidas a altas tensiones, como pavimentos o estructuras de uso pesado (Ávila & Parrilla, 2021).

Mejoramiento de tenacidad: Las fibras poliméricas recicladas contribuyen a mejorar la tenacidad del concreto. Esto significa que el concreto con fibras recicladas sin que se fracture, lo que es esencial en aplicaciones donde se espera un alto impacto o cargas dinámicas, como en pavimentos de carreteras o estructuras de edificios.

Fácil integración en el proceso de producción: Las fibras recicladas son fáciles de integrar en la mezcla de concreto, y no requieren de procesos adicionales complejos. Esto facilita su implementación en proyectos de construcción, tanto en pequeñas obras como en grandes infraestructuras, sin necesidad de equipos especializados (Ávila & Parrilla, 2021).

Usos

Concreto reforzado con fibras en estructuras: En la construcción de estructuras de concreto (como edificios, puentes y túneles), las fibras recicladas pueden ofrecer mejoras en la tenacidad, la resistencia a la compresión y la resistencia al impacto. Estas características son necesarias para asegurar la seguridad y la longevidad de

las infraestructuras, especialmente en zonas sísmicas o en áreas expuestas a condiciones extremas.

Concreto de alto rendimiento (UHPC): El concreto de alto rendimiento o UHPC (Ultra High Performance Concrete) se caracteriza por su gran resistencia y durabilidad. En este tipo de concreto, las fibras recicladas, como las fibras de vidrio reciclada o fibras de PET, se utilizan para mejorar la resistencia a la tracción y prevenir la fisuración (Esparza, 2024).

Concreto permeable y sostenible: El uso de fibra reciclada en concreto permeable también ha ganado popularidad, especialmente en proyectos de infraestructura verde, como sistemas de drenaje urbano. Las fibras mejoran las propiedades estructurales sin comprometer la permeabilidad, lo que contribuye al manejo sostenible del agua (Esparza, 2024).

Refuerzo de concreto en aplicaciones especiales: En aplicaciones más especializadas, como el concreto usado en carreteras y estructuras expuestas a condiciones agresivas, las fibras recicladas pueden ofrecer un refuerzo adicional que mejora la resistencia a las cargas, la durabilidad y la seguridad (Vallejo, 2021).

2.1.3. Propiedades mecánicas del concreto con fibras

2.1.3.1. Resistencia a la compresión y flexión

Compresión

La resistencia a la compresión del concreto es el parámetro más comparado utilizado por los ingenieros para evaluar su desempeño en el diseño de edificación. Esta resistencia se determina mediante ensayos en los que se utilizan muestras cilíndricas de concreto, las cuales son sometidas a una carga en una máquina de compresión. El cálculo se realiza dividiendo la carga máxima soportada por el área de la sección que resiste a la carga (Lopez, 2014).

El concreto se caracteriza por su gran resistencia a la compresión, pero su capacidad para soportar esfuerzos de tracción es muy baja, razón por la cual no se considera en el diseño estructural. A pesar de ello, su limitada resistencia a la tracción contribuye a minimizar la formación de grietas ocasionadas por tensiones inducidas

debido a restricciones estructurales, cambios en el volumen u otros factores. En concretos de resistencia y peso normales, esta capacidad a la tracción suele equivaler aproximadamente al del 9% de la capacidad a compresión en concretos de peso y resistencia normal (Lopez, 2014).

Flexión

La resistencia a la flexión del concreto es una medida de su capacidad para soportar esfuerzos de tracción antes de fallar por momento, especialmente en vigas o losas sin refuerzo. Para determinar esta propiedad, se realizan ensayos aplicando cargas sobre vigas de concreto con una sección transversal de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) y una luz de al menos tres veces su espesor. El resultado se expresa en términos del Módulo de Rotura (MR), medido en libras por pulgada cuadrada (MPa). Las pruebas se llevan a cabo siguiendo los métodos ASTM C-78 (carga en los puntos tercios) o ASTM C-293 (carga en el punto medio) (Lopez, 2014).

El Módulo de Rotura (MR) representa aproximadamente entre el 10 % y el 20 % de la resistencia a la compresión, dependiendo del tipo, tamaño y volumen del agregado grueso utilizado. No obstante, la correlación más precisa para un material específico se obtiene a través de ensayos de laboratorio con los materiales y el diseño de mezcla correspondientes. Además, el MR obtenido mediante la prueba con carga en los puntos tercios suele ser inferior al determinado con carga en el punto medio, en algunos casos hasta en un 15 % (López, 2014).

2.1.4. Factores que afectan el desempeño del concreto con fibras

2.1.4.1. Proporción y tipo de fibra

El comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras (FRC, por sus siglas en inglés) está influenciado por varios factores, como la fortaleza del propio concreto, las dimensiones de las probetas utilizadas en los ensayos, la forma en que se prepara la mezcla, el tamaño de los agregados y las particularidades de las fibras empleadas. Las cualidades del material con el que se fabrican las fibras desempeñan un papel clave, incluyendo su resistencia, rigidez y la relación entre deformación lateral y longitudinal. La forma de las fibras puede variar, presentándose como líneas

rectas con extremos en forma de gancho, curvas, onduladas o retorcidas, entre otras (Campoy et al., 2021).

Además, las fibras tienen características en su interacción con el concreto, como la adherencia, la fricción y la capacidad de unión mecánica, las cuales están determinadas por su textura superficial, su forma y la proporción entre longitud y diámetro. La cantidad de fibras añadidas a la mezcla también es un aspecto fundamental que ha sido estudiado y documentado ampliamente. En cuanto a los agregados, su dureza, resistencia, textura y forma de las partículas tienen un impacto significativo en la capacidad del concreto para soportar tensiones al doblarse, siendo estos elementos esenciales en el desempeño general del material (Campoy, Chávez, Rojas, Gaxiola, & Millán, 2021).

2.1.4.2. Compatibilidad entre la fibra y la matriz cementicia

Las fibras sintéticas empleadas en el ámbito de la ingeniería civil aportan propiedades estructurales a las mezclas de mortero y concreto, gracias a su composición a base de polímeros de alta resistencia. Esto representa una contribución significativa al comportamiento mecánico de los elementos reforzados con fibras (Quinteros, 2020).

Estas fibras se integran al concreto o mortero, generando una conexión fundamental entre la pasta de cemento y los agregados. Esta interacción ayuda a prevenir la aparición de fisuras y contribuye a mejorar las propiedades mecánicas del material (Quinteros, 2020).

La matriz cementicia es una matriz fibrosa es un componente que cumple la función de unir las fibras y, además, actúa como un medio para transmitir las cargas externas aplicadas sobre ella. Como función secundaria, también protege las fibras, previniendo su deterioro por abrasión mecánica o por efectos del entorno. Asimismo, la matriz mantiene las fibras separadas, la matriz ayuda a evitar la fractura (Quinteros, 2020).

2.1.4.3. Métodos de mezclado y colocación

Un diseño de concreto adecuado debe facilitar su colocación y compactación dentro de un tiempo determinado, ya sea mediante bombas o baches con el uso de

torres grúa. Es fundamental que el concreto presente un acabado de calidad, evitando la segregación y el sangrado, lo cual se logra con el empleo de aditivos retardantes o estabilizadores. La duración de su manejabilidad dependerá principalmente de las propiedades de los agregados locales y del tipo de las características del cemento (Arboleda, 2018).

2.1.5. Casos de estudio

El trabajo de Ahmad y Zhou (2022) realizó una revisión exhaustiva de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras naturales y sintéticas, abordando la problemática de la baja resistencia a la tracción del concreto convencional. El objetivo fue revisar estudios previos que evaluaron el impacto de diversas fibras en las propiedades mecánicas del concreto, tanto naturales como sintéticas. La metodología se basó en la recopilación y análisis de estudios empíricos que comparan diferentes tipos de fibras. Los resultados generales indicaron que las fibras sintéticas, en particular las macrofibras, mejoran la durabilidad y la resistencia a la tracción del concreto. Se concluye que el uso de fibras, ya sean naturales o sintéticas, es efectivo para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, con variaciones en la eficiencia dependiendo del tipo y cantidad de fibra.

La resistencia a la compresión es la característica principal del hormigón, ya que define su clasificación y se entiende como la mayor capacidad que tiene una probeta para soportar una carga aplicada de manera axial en una prensa de compresión, siguiendo los lineamientos de un método estandarizado.

Los datos obtenidos de las pruebas de compresión se ilustran en un gráfico correspondiente. Tras 28 días de curado, se nota que las muestras con un 2 % de fibras PET alcanzan un incremento en su resistencia de hasta un 2.75 % (22.79 MPa) en comparación con la muestra base (22.18 MPa).

No obstante, al aumentar la cantidad de fibras PET, la resistencia a la compresión comienza a reducirse. Por lo tanto, se considera viable emplear hasta un 4 % de PET, con una resistencia registrada de 20.90 MPa. Cuando se supera este 4 %, la resistencia cae por debajo de lo necesario para el diseño. Los análisis estadísticos indican que las resistencias varían significativamente entre las distintas

proporciones, y se observa una relación clara entre la resistencia a la compresión y la densidad del material, con un vínculo muy estrecho (Quenta-Flores, 2024).

Clarke et al. (2022) en su estudio se enfocaron en el comportamiento del concreto reforzado con macrofibras sintéticas bajo temperaturas elevadas, un tema crítico dado el deterioro que experimenta el concreto en condiciones de calor extremo. El objetivo fue realizar una revisión sistemática y un meta-análisis afectar las propiedades mecánicas del concreto expuesto a altas temperaturas.

La metodología incluyó la revisión de múltiples estudios y la realización de un meta-análisis estadístico. Los resultados mostraron que las macrofibras proporcionan una mejora significativa en la resistencia del concreto a altas temperaturas, reduciendo la propagación de grietas y mejorando la integridad estructural. La conclusión principal es que las macrofibras sintéticas pueden ser una solución viable para mejorar el rendimiento del concreto en condiciones de incendio o calor extremo.

Barboza y Burga (2023) se centraron en un estudio comparativo permitiendo la evaluación de efectividad de las fibras de nylon y de polipropileno para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, abordando la problemática de la durabilidad y resistencia estructural en ambientes agresivos. Su objetivo general es determinar cuál de estas fibras proporciona un mayor beneficio en términos de resistencia a la compresión, tracción y flexión.

La metodología se basó en la preparación de muestras con diferentes proporciones de ambas fibras y la posterior evaluación de sus propiedades mecánicas. Los resultados indicaron que ambas fibras mejoran las propiedades del concreto, aunque el polipropileno mostró un rendimiento superior en términos de resistencia. Se concluye que el polipropileno es más adecuado para aplicaciones que requieren alta flexibilidad y resistencia a las cargas dinámicas.

El artículo de Abousnina et al. (2021) se centra en las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno macro, abordando la necesidad de mejorar la durabilidad del concreto en aplicaciones estructurales. El objetivo fue investigar el impacto de las fibras de polipropileno macro en la resistencia y durabilidad del concreto. La metodología consistió en la preparación de muestras de

concreto con diferentes porcentajes de fibra y la evaluación de sus propiedades mecánicas.

Los resultados revelaron que la adición de fibras de polipropileno mejora la resistencia al agrietamiento y la tenacidad del concreto. Como conclusión, el concreto reforzado con macrofibras de polipropileno presenta mejores propiedades mecánicas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren alta durabilidad y resistencia a la tracción.

Mehrabi et al. (2024) se enfocaron en la revisión del efecto de las fibras sintéticas, incluidas las macrofibras, en el comportamiento térmico del concreto reforzado, con un enfoque en la necesidad de mejorar su rendimiento en aplicaciones sometidas a cambios térmicos extremos. El objetivo general fue analizar cómo las fibras sintéticas influyen en la conductividad térmica, la resistencia y la durabilidad del concreto bajo condiciones de temperatura variable. La metodología consistió en una revisión de la literatura y un análisis comparativo de estudios previos. Los resultados indicaron que las fibras macro sintéticas ayudan a mitigar los efectos adversos del calor en el concreto, mejorando su capacidad para soportar ciclos térmicos sin agrietarse. Concluyéndose que las fibras sintéticas, especialmente las macrofibras, mejoran significativamente el comportamiento térmico del concreto.

Vaccaro et al. (2021) investigaron el desempeño mecánico del concreto reforzado con fibras plásticas recicladas macro, abordando la problemática ambiental asociada con el reciclaje de plásticos, por ende, se evaluó si las fibras plásticas recicladas pueden mejorar las propiedades mecánicas del concreto. La metodología incluyó la fabricación de mezclas de concreto con diferentes contenidos de fibras recicladas y la evaluación de su resistencia a la compresión, tracción y flexión. Los resultados mostraron una mejora moderada en la capacidad de carga y durabilidad del concreto, aunque las fibras recicladas no alcanzaron el desempeño de las fibras sintéticas comerciales. La conclusión es que las fibras plásticas recicladas ofrecen una solución sostenible, aunque su impacto en las propiedades mecánicas del concreto es limitado en comparación con otras fibras.

Asto y Quiroz (2021) investigaron el uso de macrofibras sintéticas para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, específicamente en lo que respecta a la resistencia a la tracción y la flexión. El problema radica en la necesidad de incrementar

la durabilidad y la capacidad estructural del concreto en proyectos de infraestructura. El objetivo general fue analizar el impacto de diferentes proporciones de macrofibra sintética en las propiedades del concreto. La metodología involucró la creación de especímenes de concreto con diversos porcentajes de fibra y la realización de pruebas mecánicas.

Los resultados indicaron una mejora considerable en la resistencia al agrietamiento y la capacidad de deformación del concreto. La conclusión es que la macrofibra sintética puede ser utilizada eficazmente para mejorar las propiedades estructurales del concreto en aplicaciones donde la resistencia a la tracción es crítica.

El mejor desempeño obtenido fue el de la mezcla b, con fibras PET. Si bien a 7 días la mezcla patrón (a) tuvo mayor resistencia que la mezcla con fibras comerciales (c), a 28 días la mezcla c superó la resistencia de la mezcla patrón. La mejora de la resistencia a flexión a 28 días fue de 150 % y 125 % para las mezclas b y c, respectivamente. La mezcla c fue la que más lentamente ganó resistencia, seguida de la mezcla b.

La resistencia a flexión registrada para las probetas prismáticas sin entallar sufrió una reducción considerable para las mezclas realizadas con fibras en comparación con la probeta de hormigón control (Fibras recicladas). Los resultados también muestran que, a medida que aumenta el porcentaje de fibra, se produce una reducción significativa de la resistencia a flexión (Vaccaro, 2021).

2.2 Marco Legal

Para un marco legal sobre el tema de comportamiento mecánico del concreto con microfibra sintética y fibras poliméricas recicladas en el contexto de Ecuador, es esencial abordar la legislación relacionada con la construcción, la gestión de residuos reciclables, y los estándares de materiales de construcción. A continuación, se presenta un marco legal pertinente que puede influir en el estudio:

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

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.

Art. 30.- Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica.

Art. 31.- Las personas tienen derecho al disfrute pleno de la ciudad y de sus espacios públicos, bajo los principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural. El ejercicio del derecho a la ciudad se basa en la gestión democrática de esta, en la función social y ambiental de la propiedad y de la ciudad, y en el ejercicio pleno de la ciudadanía.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

2.2.2. INEN (*Instituto Ecuatoriano de Normalización*)

Ecuador tiene normas nacionales relacionadas con el concreto que especifican requisitos de calidad para los materiales y los métodos de producción. Entre estas se encuentran normas para el concreto, que establece los requisitos técnicos y estándares de calidad para el concreto utilizado en estructuras de edificación e

infraestructura. Si bien esta norma no menciona específicamente las fibras recicladas, su aplicación puede adaptarse para integrar materiales reciclados en las mezclas de concreto, promoviendo su uso eficiente y garantizando que se mantengan los estándares de resistencia y durabilidad.

El INEN es el organismo encargado de regular las normas técnicas de construcción en Ecuador. Entre sus normas, se pueden encontrar documentos relacionados con el cemento, agregados, fibras y otros componentes utilizados en el concreto. Esto es relevante si se busca investigar cómo las fibras sintéticas y recicladas impactan las propiedades mecánicas del concreto.

2.2.2.1 NEC INEN 696:2011 - Determinación de la Graduación de los Materiales como Áridos para Hormigón

Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos.

Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos.

La información también puede ser útil en el desarrollo de relaciones para estimar la porosidad y el arreglo de las partículas.

En esta norma se incluyen instrucciones para el análisis granulométrico de áridos que contienen mezclas de fracciones finas y gruesas.

El cemento hidráulico puede ser envasado y comercializado de diversas maneras, tales como fundas de papel, fundas de plástico, bolsas grandes, al granel o cualquier otra forma acordada entre comprador y vendedor según el contrato de pedido. El cemento en fundas debe cumplir con la norma NTE INEN 1902.

NTE INEN 156 (ASTM C 188): Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.

- NTE INEN 158 (ASTM C 191): Cemento hidráulico. Determinación del

tiempo de fraguado. Método de Vicat.

Los Áridos son materiales granulares que constituye el mayor volumen en la mezcla para la preparación de un hormigón. Sus propiedades físicas y mecánicas juegan un papel muy importante en las del hormigón. Puede provenir de la trituración de mantos de roca natural o de cantos rodados.

Los ensayos que se realizan son:

- NTE INEN 696 (ASTM C136): Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.
- NTE INEN 856 (ASTM C128): Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.
- NTE INEN 857 (ASTM C127): Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.
- NTE INEN 858 (ASTM C 29): Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.
- NTE INEN 860 (ASTM C131): Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.
- NTE INEN 859 (ASTM C70): Determinación de la humedad superficial en el árido fino.

2.2.2.2 NEC INEN 0872:2011 Requisitos para los Áridos en la Preparación de Hormigones

Esta norma la pueden utilizar: los contratistas, los proveedores de hormigón o quienes compren áridos, como parte del documento de compra que describe el material a ser suministrado.

Esta norma se la puede utilizar también en especificaciones de proyecto, para definir la calidad del árido, su tamaño máximo nominal y otros requisitos específicos de granulometría. Los responsables de seleccionar la dosificación de mezclas de

hormigón tienen la responsabilidad de determinar la dosificación de los áridos fino y grueso y la adición de tamaños combinados de áridos, si se requiere o se aprueba.

El texto de esta norma hace referencia a notas en pie de página, las cuales proveen material explicativo. Estas notas, exceptuando aquellas ubicadas en tablas y figuras, no deben ser consideradas como requisitos de esta norma.

Las mezclas de hormigón se deben dosificar para cumplir con la relación máxima de agua-cemento (a/c) y otros requisitos según la clase de exposición asignada al elemento estructural. El hormigón estructural, la resistencia a la compresión no será menor a $f'c = 21$ MPa. La dosificación se puede basar también en la experiencia de obras similares, en mezclas de prueba o en ambas. La evaluación y aceptación del hormigón será según lo indicado en las normas

- NTE INEN 1 855-1 (ASTM C 94) y NTE INEN 1 855-2.

La toma de muestras de hormigón debe ser obtenida de acuerdo a la norma NTE INEN 1-763, además el número de cilindros deben ser los indicados en las especificaciones de la obra o en la NTE INEN 1855-1.

2.2.2.3 NEC INEN 1573:2010 - Metodología de Ensayo para Determinar la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Este método de ensayo se aplica a especímenes cilíndricos tales como cilindros moldeados y núcleos perforados de hormigón de cemento hidráulico, que tengan una densidad mayor que 800 kg/m³.

Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico, preparados y curados de acuerdo con las normas ASTM C 31, ASTM C 192, ASTM C 617, ASTM C 1.231, ASTM C 42 y ASTM C 873, mientras no existan normas INEN.

Las fibras estructurales” requieren de ciertas normas y ensayos que debido a su adición al concreto aporta o contribuye de manera efectiva a la capacidad de carga

a flexión, de corte y de impacto en un elemento de concreto, además de mejorar el control de fisuras por retracción y la durabilidad del concreto.”

Las fibras a ser utilizadas como refuerzo estructural de hormigón deben cumplir con las siguientes normas:

- ASTM C1017 / C1017M: Especificación para aditivos químicos utilizados en la elaboración de hormigón fluido.
- ASTM C1116: Especificación para hormigón reforzado con fibras.
- ASTM A 820. Adiciones y fibras dispersas a ser utilizadas como refuerzo de hormigón.

La norma ASTM C - 1116 define las fibras como: “Filamentos finos y alargados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco.” Las fibras son hilos cortos distribuidos de forma aleatoria sobre la matriz (hormigón). Un parámetro interesante que describe una fibra es la relación entre la longitud y el diámetro equivalente de la fibra. El diámetro equivalente de la fibra es el diámetro de un círculo de igual área a la sección de la fibra.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

Este trabajo investigativo se encuentra enmarcado en un enfoque cuantitativo. Según Sampieri (2014) este enfoque se caracteriza por ser secuencial y basado en pruebas, donde el enfoque cuantitativo se centra en el uso de información numérica o cuantificable para estudiar el tema objetivo, probar hipótesis y determinar relaciones entre diferentes variables. Este enfoque se basa en medir y analizar el tema de interés de manera objetiva con herramientas como encuestas, ensayos, experimentos entre otros.

Cada fase sigue a la anterior de manera ordenada, sin posibilidad de omitir o saltar pasos, aunque es posible ajustar alguna etapa si es necesario. Se inicia con una idea general que se va precisando progresivamente; una vez definida, se establecen objetivos y preguntas de investigación, se realiza una revisión bibliográfica y se elabora un marco teórico o perspectiva conceptual.

A partir de las preguntas se formulan hipótesis y se identifican variables; luego, se diseña un plan para evaluarlas (diseño de investigación), se miden las variables en un contexto específico, se analizan los resultados mediante técnicas estadísticas y, finalmente, se obtienen conclusiones derivadas del proceso.

En esta investigación se empleó el enfoque cuantitativo, debido a que se estableció mediante ensayos, ejecutados en diferentes probetas de hormigón para la toma de muestras de vigas y cilindros, además se efectuó ensayos granulométricos para los agregados finos y gruesos.

En los ensayos experimentales se tomó en cuenta el diseño de un hormigón tradicional sin fibra, un diseño de hormigón añadiendo macrofibra sintética y un diseño de hormigón añadiendo fibra polimérica reciclada. La metodología está estructurada para recopilar datos de acuerdo a la norma.

Los ensayos de granulometría permitieron evaluar la calidad de los agregados de forma óptima para el diseño de la mezcla de hormigón, mientras que los ensayos de probetas a la compresión y flexión van a determinar la variación del desempeño

mecánico del hormigón al momento de añadir los diferentes tipos de fibra para poder realizar el análisis comparativo.

Adicional, en el enfoque cuantitativo se puede modelar el comportamiento del hormigón frente a las diferentes proporciones utilizadas en la mezcla para así poder ajustar el diseño del hormigón de acuerdo a las características especificadas o requeridas en obra. Así a partir de esta investigación se evalúa la viabilidad de añadir los diferentes tipos de fibra y recomendaciones para futuras construcciones.

3.2 Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es descriptivo ya que se centró en examinar y describir cómo influye la adición de macro fibra sintética y fibra de poliméricos reciclados en la mezcla. Su propósito es medir tanto el grado de relación como la dirección de la misma, ya sea positiva o negativa. Por ejemplo, si se quiere investigar si existe una relación entre el uso de fibra reciclada en el hormigón y sus propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión o compresión se puede analizar cómo influye la adsorción de estas variables en la mezcla de hormigón. Sin embargo, es importante destacar que no se establece causalidad, sino simplemente una asociación entre las variables.

Este tipo de investigación puede implicó el análisis de varios ensayos dependiendo del objetivo del estudio. Además, los resultados obtenidos tienen un alcance limitado, ya que están condicionados por la muestra utilizada y el entorno específico en el que se realizan los ensayos para el objetivo de esta i

3.3 Población y muestra

En este estudio la población son las diferentes mezclas de hormigón, entre las que se encuentran el método convencional en sus diferentes resistencias y los fibroreforzados que mejoran las propiedades del hormigón.

Las muestras en este estudio estuvieron compuestas por 27 probetas de hormigón, como se muestra en la tabla 3 y 4 por cada tipo de ensayo; por lo tanto, se obtiene hormigón convencional en resistencia f'_c 280kg/cm², y dos muestras añadiendo macrofibra sintética en 2.5 kg/m³ y macrofibra sintética en 5 kg/m³.

Tabla 3.

Muestra de probetas en vigas

Días	Tradicional	2,5kg/m ³	5kg/m ³
7	3	3	3
14	3	3	3
28	3	3	3
Muestra total			27

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025)

Tabla 4.

Muestra de probetas cilindros

Días	Tradicional	2,5kg/m ³	5kg/m ³
7	3	3	3
14	3	3	3
28	3	3	3
Muestra total			27

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025)

3.4 Técnica e instrumentos para obtener los datos

3.4.1 Técnica

Evaluar la resistencia mecánica del hormigón significa medir su capacidad para soportar diferentes tipos de esfuerzos sin fallar o deformarse excesivamente. Esto se realiza mediante ensayos normalizados en laboratorio que determinan cómo el hormigón responde a distintas cargas, asegurando que cumple con los requisitos estructurales necesarios para su aplicación en construcción.

- **Experimentación en laboratorio:** Se tomarán muestras de cilindros y muestras de viga para cada dosificación de hormigón de acuerdo a la norma

NTE INEN 157661, los mismos que estarán constituidos por distintas concentraciones de macrofibra según las recomendaciones dadas por la norma ACI-544.2R62

- **Observación directa:** Se efectuó la observación directa durante el proceso de mezclado, curado, ensayos y comportamiento de las muestras.
- **Revisión documental:** se efectuó el análisis de estudios previos, normativas técnicas como son ASTM, ACI y literatura sobre fibras sintéticas y recicladas en concreto, a fin de poder construir el conocimiento, interpretar la realidad y mejorar la formulación de problema en estudio.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Para obtener los datos del comportamiento del hormigón tradicional en comparación con el hormigón que contiene diferentes porcentajes de macro fibra reciclada de botellas plásticas, se utilizaron diversos instrumentos de laboratorio especializados. Estos instrumentos permitieron medir la resistencia mecánica, la durabilidad y otras propiedades físicas del material. A continuación, se detallan los principales instrumentos que se emplearon en los procesos de evaluación.

- **Materiales**

Cemento

El cemento utilizado en esta investigación fue el de Holcim HE (High Early Strength) el cual es de los más utilizado a nivel industrial.

Holcim Premium Tipo HE es un cemento hidráulico de alta resistencia fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380, que equivale a la Norma ASTM 1157. Esta directriz permite fabricar cementos con adiciones basados en su desempeño, que minimizan el impacto ambiental y dan como resultado un uso muy eficiente de las materias primas. El cemento Holcim Premium Tipo HE está compuesto de Clinker de cemento portland, yeso y adiciones de puzolanas naturales (Holcim, 2024).

Agua potable

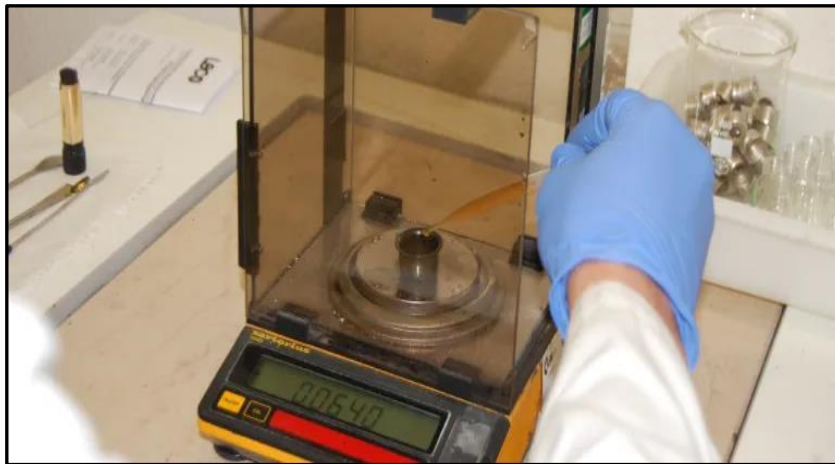
El agua potable empleada cumplió con la norma NTE INEN 1108 donde se determinaron todos los parámetros para la elaboración de las probetas de hormigón.

Aditivo

El aditivo plastificante de cumplió con norma ASTM C494 – aditivos para concreto.

Figura 1.

Aditivo para el concreto



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

Agregado fino

El agregado fino empleado en este estudio consistió en arena natural. La misma que fue sometida a un análisis granulométrico con la finalidad de verificar cumpla con los requisitos necesarios para la elaboración del hormigón.

Las partículas deben ser limpias, duraderas y resistentes a la corrosión, sin químicos absorbidos ni otros componentes que puedan afectar la adherencia y el proceso de hidratación del cemento.

El agregado fino debe pasar por un tamiz de 4,75 mm (#4) y la arena triturada no debe exceder el 30% del material fino. Según la norma ASTM C 33, el agregado fino debe cumplir con ciertos requisitos de calidad, como la presencia de limos, arcillas y materia orgánica en cantidades que no sean perjudiciales para la mezcla.

Agregado grueso

El agregado utilizado en esta investigación consistió en piedra de 19mm. La misma que fue sometida a un análisis granulométrico con el fin de verificar cumpla con los requisitos necesarios para la elaboración del hormigón.

Se verificará el cumplimiento de los requisitos técnicos que debe cumplir el agregado fino y grueso (Figura 2), para propósitos de investigación según las normas ASTM D75 y C33 o la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 695 y 872.

Figura 2.

Recolección de agregado fino y grueso



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

Figura 3.

Clasificación del material



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

El agregado que queda en el tamiz de 4,75 mm (#4) está compuesto por agregados de rocas sedimentarias, las cuales son abundantes en la superficie terrestre. Estas rocas se forman a partir de escombros de rocas metamórficas, ígneas u otras rocas sedimentarias que se descomponen o desintegran.

El agregado es el término que se emplea para definir al material pétreo que se utiliza en el hormigón, independientemente de su tamaño. El término agregado abarca a las arenas, gravas naturales y piedra triturada, y también a los materiales especiales utilizados para producir hormigones livianos y pesados.

Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y es el elemento mayoritario ya que representa el 80-90% del peso total de concreto, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

Macrofibras sintéticas

Las macrofibras sintéticas se fabrican a partir de materiales como el polipropileno o PET. Generan un buen comportamiento del concreto ensayado a la tensión. Las fibras sintéticas generalmente se presentan con una longitud de 60 mm y en concreto lanzado las macrofibras sintéticas reducen el desgaste de mangueras, bombas, trompos y mixers.

Figura 4.

Macrofibras sintéticas



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

- **Equipos y herramientas de laboratorio**

Para obtener los datos del comportamiento del hormigón tradicional en comparación con el hormigón que contiene diferentes porcentajes de macrofibra reciclada de botellas plásticas, se utilizan diversos instrumentos de laboratorio especializados. Estos instrumentos permiten medir la resistencia mecánica, la durabilidad y otras propiedades físicas del material.

- **Molde de probetas:** Cilíndricos o prismáticos, según normativa.

Figura 5.

Molde de probetas



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

- **Balanza electrónica:** Fue utilizada para la medición precisa de materiales.

Figura 6.

Balanza electrónica

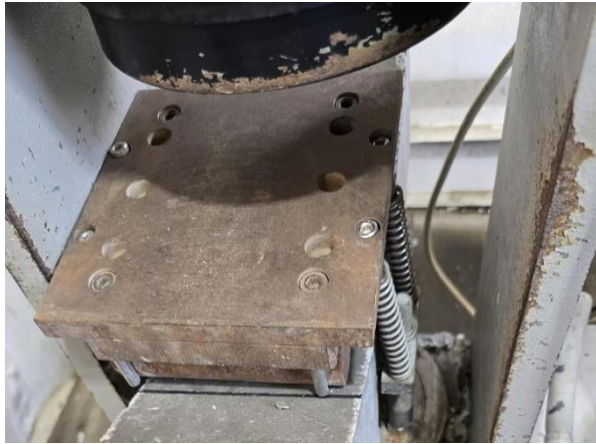


Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

- **Prensa hidráulica:** fue necesaria para poder efectuar la rotura de las vigas.

Figura 7.

Prensa hidráulica



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

- **Formatos de recolección de datos**

- **Hojas de control de mezclas:** donde se anotaron la dosificación, proporciones de fibras y materiales que fueron utilizados en el ensayo.
- **Fichas de resultados de ensayos:** se obtuvieron fichas con datos sobre resistencia a la compresión, flexión, tracción, módulo elástico de las muestras en estudio.
- **Registros fotográficos:** se efectuó un registro fotográfico del proceso efectuado durante la investigación.

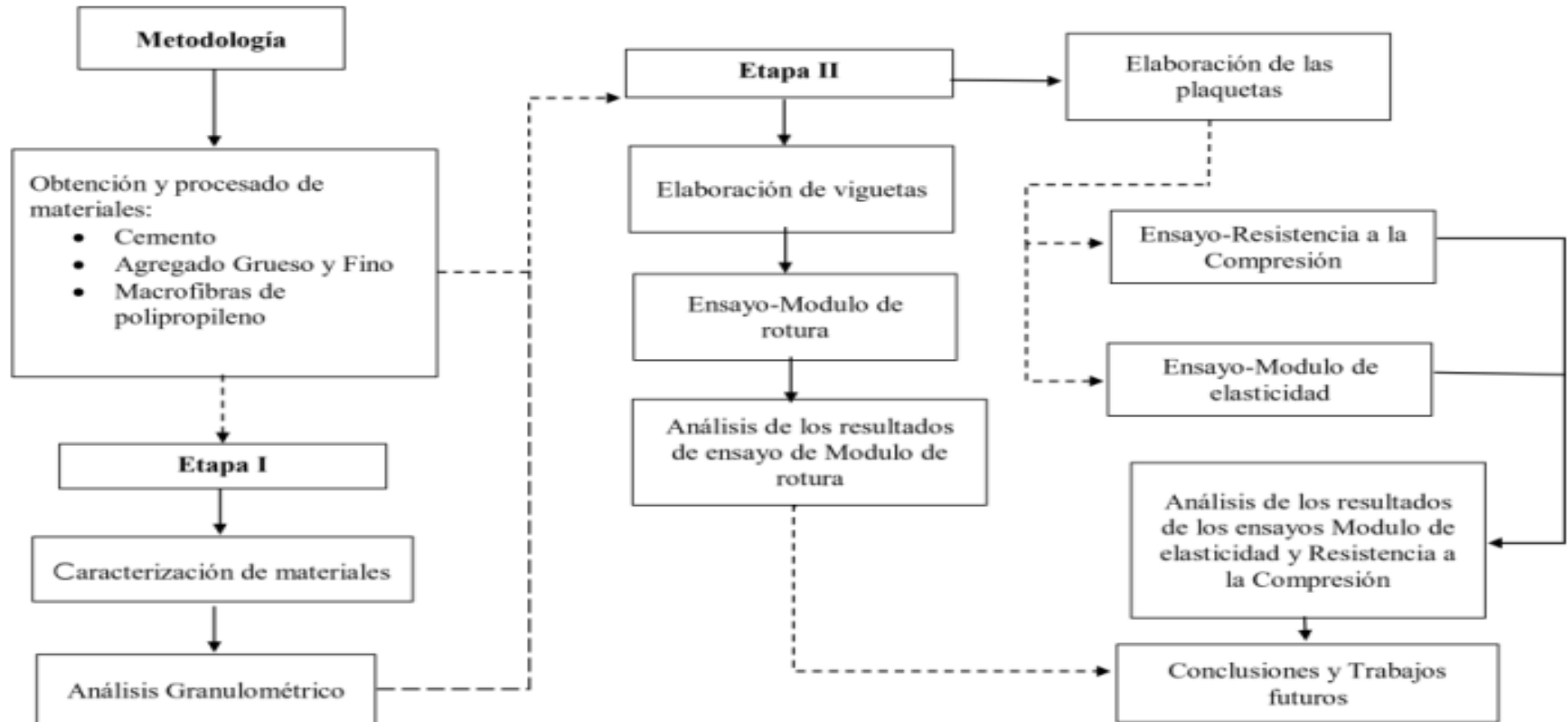
Procedimiento de recolección de datos

1. **Diseño de mezclas:** se definieron las proporciones de concreto convencional y mezclas con diferentes dosificaciones de macrofibra fibras recicladas.
2. **Preparación de muestras:** se efectuó el moldeo y curado de probetas de acuerdo con normativas vigentes.
3. **Realización de ensayos mecánicos:**

- **Resistencia a la compresión (ASTM C39):** Este ensayo cumplió con los parámetros definidos en el proceso detallado por la norma ASTM-C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, el ensayo consiste en la aplicación de fuerza constante de compresión axial en los cilindros, sin generar impacto, y a una tasa de carga de $0.25 \text{ MPa} \pm 0.05 \text{ MPa}$ hasta que ocurra la falla y se registra el valor máximo.
 - **Resistencia a la flexión (ASTM C78):** determina la resistencia a la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple con carga en un tercer punto. Los resultados se informan como módulo de ruptura (MOR), que es la resistencia a la flexión de la muestra de hormigón justo antes de que ceda.
 - **Ensayo de tracción indirecta (ASTM C496):** El ensayo de tracción indirecta (ASTM C496) es un método para determinar la resistencia a tracción del hormigón. También se le conoce como Ensayo Brasileño.
4. **Análisis de resultados:** Se efectuó la comparación del desempeño mecánico entre el concreto convencional y el modificado con macrofibras.
5. **Interpretación y presentación de resultados:** se graficó y analizó la influencia de cada tipo y proporción de macrofibra en el comportamiento mecánico del concreto.

Figura 8.

Esquema metodológico



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1 Presentación y análisis de resultados

La presentación y análisis de los resultados está realizada en base a los objetivos de esta investigación, para eso se utilizaron técnicas como ensayos granulométricos de los agregados, ensayos en probetas de hormigón y un comparativo de los costos de un diseño 280kg/cm^2 modificando la dosificación de fibra reciclada y macrofibra sintética en la misma proporción.

4.1.1. Caracterización los materiales de la mezcla del hormigón mediante ensayos físicos.

4.1.1.1 Agregados finos

Este agregado fino empleado estuvo libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, presencia de partículas escamosas o blandas, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

En la Tabla 5 se muestran los resultados granulométricos del agregado fino, en donde se observan los porcentajes retenidos en cada uno de los tamices, y se basó en la norma NTE INEN 696-2011 Áridos, Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Estos agregados son provenientes de cantera Rooka Azul y Arenera Anropevi ubicada en la parroquia General P. J. Montero del cantón Boliche.

Al analizar la muestra del agregado fino, se observa que cumple con los requisitos de granulometría realizado con una serie de tamices estandarizados muestran que los porcentajes de material retenido y pasante se ajustan a los rangos definidos por la norma técnica correspondiente, como la INEN 872.

Esto significa que la distribución de los tamaños de las partículas debe se encuentra dentro de los límites establecidos, garantizando una gradación que no presenta excesos de partículas extremadamente finas (como limo o arcilla) ni

excesivamente gruesas, lo que podría alterar la trabajabilidad o la cohesión del hormigón fresco.

Este cumplimiento asegura que el agregado fino contribuye de manera efectiva a las propiedades del hormigón, como una buena compactación y una demanda de agua equilibrada en la mezcla. Al ajustarse a los criterios granulométricos, el material proporciona una estructura interna homogénea que optimiza la interacción con la pasta de cemento, resultando en un concreto con adecuada resistencia mecánica y un acabado superficial satisfactorio, apto para aplicaciones estructurales o no estructurales según el diseño previsto.

Tabla 5.

Agregado fino

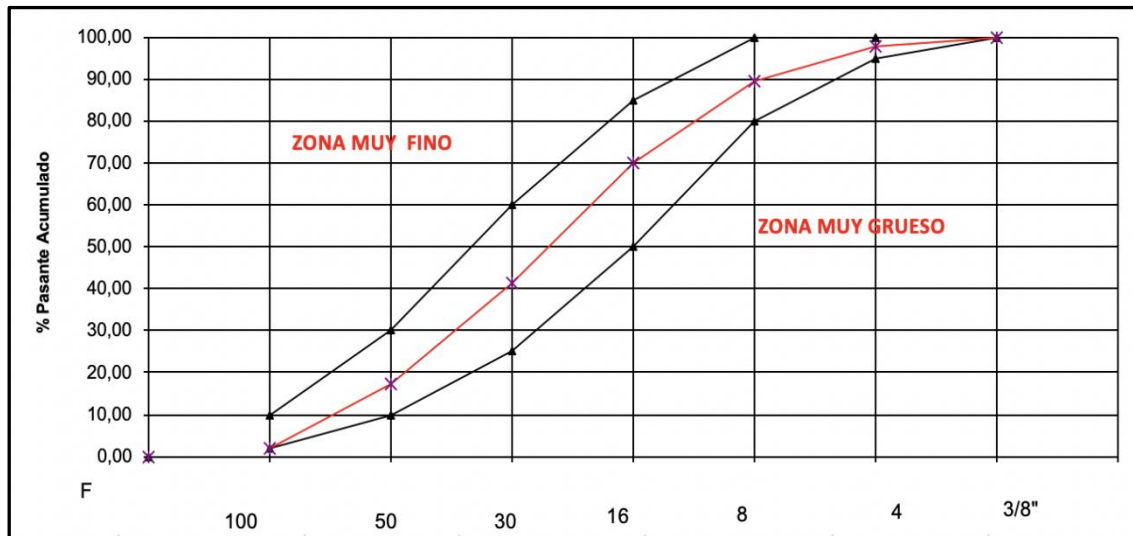
TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
las	mm				
3/8"	9,5	0,0	0,0	0,00	100,00
No 4	4,75	8,5	8,5	2,02	97,98
No 8	2,36	36,0	44,5	10,57	89,43
No 16	1,18	81,1	125,6	29,83	70,17
No 30	0,6	120,5	246,1	58,44	41,56
No 50	0,3	102,5	348,6	82,78	17,22
No 100	0,15	65,0	413,6	98,22	1,78
No 200	0,075	4,3	417,9	99,24	0,76
FONDO		3,2	421,1	100,00	0,00
MASA TOTAL DEL MATERIAL		421,10			

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

Como se puede observar en la Figura 8 se aprecia la curva granulométrica que evidencia la gran cantidad de material granular fino que se empleó en este estudio que pasa el tamiz N°4.

Figura 9.

Curva granulométrica de agregado fino



Nota: Resultados de ensayo granulométrico de muestra de cantera Rooka Azul

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la Figura 9 se aprecia el sitio donde fue tomado el agregado fino para el desarrollo de este estudio.

Figura 10.

Stock de agregado fino



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

4.1.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso empleado en esta investigación presentó un tamaño máximo nominal de 19 mm., el mismo que cumple con los requisitos de granulometría como se muestra en la Tabla 6, realizado mediante una serie de tamices estandarizados, que indican que los porcentajes de material retenido y pasante se ajustan a los límites definidos por la norma técnica correspondiente, como la INEN 872 en Ecuador.

Tabla 6.

Agregado grueso 3/4

TAMIZ ASTM No.	(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
2½"	(63,0)		0	0,00	100,00
2"	(50,0)		0	0,00	100,00
1½"	(37,5)		0	0,00	100,00
1"	(25,0)	20,30	20	0,25	99,75
¾"	(19,0)	151,70	172,00	2,12	97,88
½"	(12,5)	5397,40	5569	68,49	31,51
⅜"	(9,50)	2027,35	7597	93,42	6,58
No.4	(4,75)	527,60	8124	99,91	0,09
No.8	(2,36)	0,60	8125	99,92	0,08
No.16	(1,18)		8125	99,92	0,08
No.30	(0,60)		8125	99,92	0,08
No.50	(0,30)		8125	100,00	0,00
No.100	(0,15)		8125	100,00	0,00
Fondo		6,70	8132	100,00	0,00
Total		8131,7			

Nota: Resultados de ensayo granulométrico de muestra de cantera Rooka Azul

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

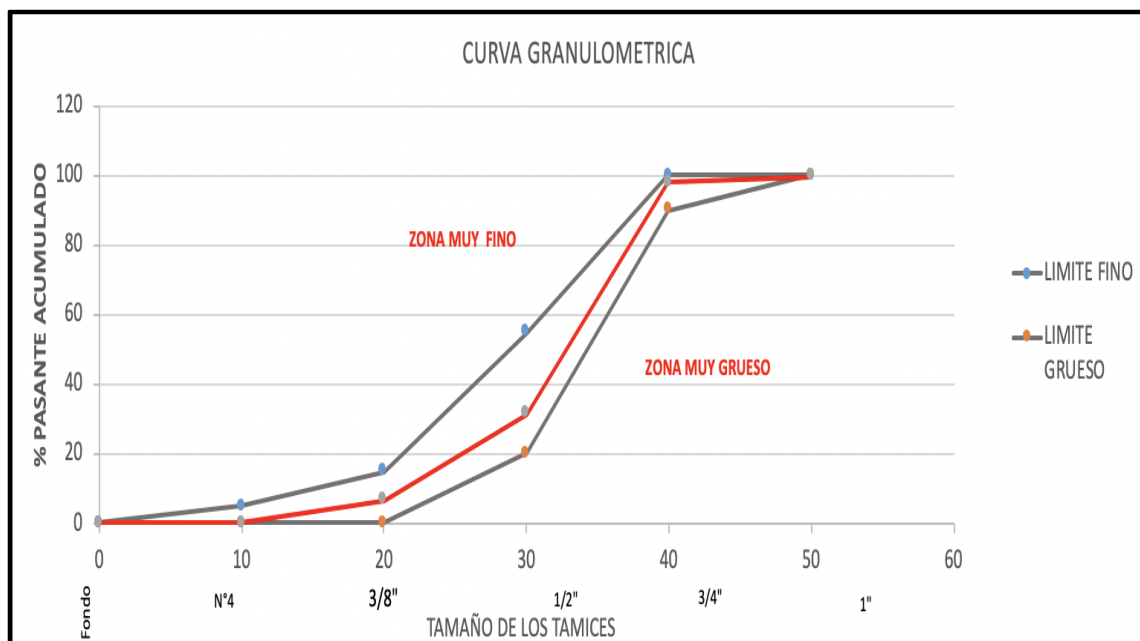
Esto implica que la distribución de tamaños de las partículas está dentro de las bandas especificadas, garantizando una gradación continua o bien definida que evite excesos de partículas demasiado grandes o finas, lo cual podría comprometer la trabajabilidad y la compactación del hormigón.

Dicho cumplimiento asegura que el agregado grueso de 19 mm contribuye a una mezcla de concreto con propiedades óptimas, como una buena cohesión con la pasta de cemento y una reducción de vacíos en la matriz. Al satisfacer estos criterios granulométricos, el material proporciona un equilibrio adecuado entre resistencia mecánica y facilidad de colocación, siendo apto para aplicaciones estructurales donde se requiere soportar cargas de compresión o flexión, como pavimentos o vigas, siempre que se respeten las proporciones establecidas en el diseño de la mezcla.

Como se puede observar en la Figura 10 se aprecia la curva granulométrica que evidencia la gran cantidad de material granular grueso que se empleó en este estudio.

Figura 11.

Curva granulométrica de agregado grueso



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la Figura 11 se aprecia el sitio donde fue tomado el agregado fino para el desarrollo de este estudio.

Figura 12.

Stock de agregado grueso



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la Tabla 7 se muestran las características de los agregados fino y gruesos empleados en este estudio.

Tabla 7.

Características de los agregados

Descripción	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario suelto	1600 kg/m ³	1050 kg/m ³
Peso unitario compactado	1700 kg/m ³	1150 kg/m ³
P. específico masa seca	2.41 gr/cm ³	2.05 gr/cm ³
Contenido de humedad	6.16%	1.0%
% de absorción	2.35%	1.0%
Módulo de fineza	2.92	6.80
Tamaño máximo nominal	3/8"	1/2"

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

4.1.1.3 Fibra reciclada

Para la obtención de fibra reciclada, se llevó a cabo un proceso manual de recolección y corte de botellas plásticas provenientes de desechos urbanos. La primera etapa consistió en la recolección de botellas PET, con el objetivo de reutilizar un material de difícil degradación y contribuir a la reducción del impacto ambiental. Se seleccionaron botellas en condiciones adecuadas, evitando aquellas excesivamente deterioradas o contaminadas.

Posteriormente, se continuó con el proceso de corte. Utilizando tijeras de mano, cada botella fue fragmentada en tiras delgadas de aproximadamente unos milímetros de ancho, garantizando una forma y tamaño adecuados para su incorporación en mezclas de concreto. Este proceso demandó precisión y tiempo, ya que la uniformidad de las fibras influye en su desempeño dentro del material final (Figura 12).

Figura 13.

Fibra reciclada utilizada en la mezcla



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la Figura 13, se presenta la fibra comercial que, en la actualidad, es utilizada de manera industrial en la producción de concreto. Esta macrofibra se ha integrado al proceso de fabricación del concreto debido a sus propiedades que mejoran la resistencia y durabilidad del material. Su inclusión en la mezcla ha demostrado ser beneficiosa para el comportamiento estructural del concreto, proporcionando una mayor cohesión y reduciendo la posibilidad de fisuración. El uso de esta fibra se ha expandido en diversas aplicaciones industriales y de construcción, ya que contribuye a optimizar las características mecánicas del concreto y a aumentar su vida útil.

Figura 14.

Macrofibra sintética utilizada en la mezcla



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

4.1.2. Determinación de las cantidades de agregados para el diseño de un hormigón 280kg/cm², uno de tipo convencional y dos con adición de fibras.

Para el desarrollo del presente diseño, se consideraron valores provenientes de ensayos previos de laboratorio y de la experiencia adquirida en campo. Esta metodología permitió establecer parámetros confiables y representativos de las condiciones reales de aplicación en relación a los materiales cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y aditivo para la producción de 1 m³ de hormigón con una resistencia de 280 kg/cm².

Hormigón convencional 280 kg/cm²

Esta dosificación es fundamental para garantizar la consistencia y la calidad del hormigón generado, por lo que en la Tabla 11 se especifican las cantidades exactas de cada componente requerido para lograr la resistencia deseada.

Hormigón tradicional con adición de 2,5kg/m³ de fibra sintética

Para analizar cómo afecta la incorporación de fibra sintética a las propiedades del hormigón, se definió una dosificación adaptada que incluye la adición de 2,5 kg de fibra sintética en la mezcla. La tabla 11 detalla las cantidades específicas de materiales requeridas para producir 1 m³ de concreto, especificando la cantidad precisa de fibra sintética junto con los otros componentes esenciales, con el objetivo de obtener un hormigón cuyas características sean comparables a las del hormigón convencional (Figura 14).

Hormigón tradicional con adición de 5kg/m³ de fibra sintética

Para analizar el impacto de añadir 5 kg de fibra en la mezcla de hormigón, se diseñó una dosificación específica que ajusta las proporciones de los materiales. En la Tabla 8 se muestra los componentes y sus cantidades precisas para preparar 1 m³ de la mezcla.

Tabla 8.

Dosificación para el diseño de hormigón 280 kg/cm² para 1m³

Material	Hormigón convencional (kg)	Fibra sintética (2.5 kg)	Fibra sintética (5 kg)
Cemento	370	370	370
Piedra 19mm	759	759	759
Arena	1139	1139	1139
Aditivo	3,7	3,7	3,7
Agua	193	193	193
Fibra	0	2,5	5

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

Figura 15.

Elaboración de los cilindros



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

4.1.3. Cálculo de la resistencia a la flexión y compresión de un hormigón convencional y uno reforzado con fibras.

Previo a realizar los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, se prepararon y curaron 54 probetas con las dimensiones específicas necesarias para asegurar la uniformidad y exactitud de los resultados. Las propiedades físicas de estas probetas se describen a continuación, proporcionando los parámetros para un análisis comparativo detallado entre los distintos tipos de hormigón evaluados en este estudio. A continuación, en la Tabla 8 se indican las dimensiones precisas de las probetas utilizadas:

Tabla 9.

Dimensiones de probetas a compresión

	Medida
Diámetro	10cm
Radio	5cm
Altura	20cm
Área	78,54cm ²
Volumen	1570,80cm ³

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025)

Cabe resaltar que las probetas a compresión tienen dimensiones de 10cm de diámetro, 5cm de radio, una altura de 20cm manteniendo la relación 2 a 1 respecto al diámetro.

Se tomaron 54 probetas en total las cuales fueron sumergidas en agua por 7, 14 y 28 días para luego ser ensayada su resistencia a la compresión.

Las muestras estuvieron divididas en 9 probetas por cada tipo de hormigón, en donde se usaron 3 probetas para el ensayo de resistencia a la compresión de 7 días con la adición de 2,5kg/m³ y 5kg/m³ de cada tipo de fibra. El mismo procedimiento se realizó con las probetas a 14 y 28 días.

Las probetas fueron sometidas a un proceso de pruebas de compresión utilizando una prensa hidráulica universal, con el objetivo de evaluar su resistencia bajo condiciones controladas. Durante estas pruebas, se aplicó una carga progresiva sobre las probetas hasta alcanzar el punto de fallo o deformación significativa, lo que permitió determinar su capacidad para soportar cargas. Los resultados obtenidos de estas mediciones proporcionan información detallada sobre el comportamiento de las probetas frente a la compresión, y los datos obtenidos se presentarán a continuación.

4.1.3.1. Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional

Se llevaron a cabo ensayos de compresión en especímenes curados en condiciones controladas para determinar la resistencia a compresión del hormigón convencional. Estas pruebas se realizaron a los 7, 14 y 28 días, lo que facilitó una comparación del incremento de la resistencia a lo largo del tiempo. En la Tabla 10 siguiente muestra los resultados específicos de la resistencia a compresión registrados para cada grupo de probetas en las distintas fases de curado.

Tabla 10.

Resistencia de probetas a la compresión hormigón tradicional

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Kg/cm ²	
5/2/25	12/2/25	7	2,46	12,45	154,8	
5/2/25	12/2/25	7	2,46	12,74	158,4	156,6
5/2/25	12/2/25	7	2,46	12,59	156,6	
5/2/25	19/2/25	14	2,46	18,51	229,7	
5/2/25	19/2/25	14	2,46	17,78	220,6	225,1
5/2/25	19/2/25	14	2,46	18,15	225,15	5
5/2/25	5/3/25	28	2,46	23,33	290	
5/2/25	5/3/25	28	2,46	21,96	273	281,5
5/2/25	5/3/25	28	2,46	22,65	281,5	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

La tabla 10 detalla cómo cambia la resistencia a compresión del concreto con el tiempo, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 156,6 kg/cm², 225,15 kg/cm² y 281,5 kg/cm², respectivamente. Estos resultados destacan un crecimiento sostenido de la resistencia a medida que el concreto avanza en su proceso de endurecimiento y fraguado, un patrón habitual en este material debido a la hidratación progresiva del cemento, que produce compuestos como el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H), esencial para el fortalecimiento del concreto que a sus 28 días obtuvo el 100% al sobrepasar levemente la resistencia esperada de 280kg/cm² (Figura 16).

Figura 16.
Compresión de probetas



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

Además, los cambios en la densidad de las probetas coinciden de forma lógica con el aumento de la resistencia a lo largo del tiempo, lo que refleja una evolución constante y equilibrada en la estructura interna del concreto durante el curado.

Este factor es clave, ya que una densidad uniforme y apropiada indica una menor cantidad de poros, lo que se vincula directamente con una mayor capacidad mecánica y longevidad. La consistencia en el incremento de la resistencia y la densidad apunta a que el concreto fue elaborado y curado de manera óptima, asegurando un desempeño eficiente en aplicaciones estructurales.

4.1.3.2. Resistencia a compresión de probetas de hormigón con adición de 2,5kg/ m³ y 5kg/m³ de fibra sintética

Se realizaron pruebas de compresión en probetas curadas bajo condiciones controladas para evaluar la resistencia a compresión del hormigón convencional, al que se añadieron 2,5 kg/m³ y 5 kg/m³ de macrofibra sintética por metro cúbico. Estos ensayos se llevaron a cabo a los 7, 14 y 28 días, permitiendo observar cómo se desarrollaba la resistencia con el paso del tiempo. La tabla 11 se detallan los valores específicos de resistencia a compresión obtenidos para cada conjunto de especímenes en las diferentes etapas ensayadas.

Tabla 11.*Resistencia de probetas a la compresión hormigón con 2,5Kg de fibra sintética*

Fecha de elaboración	Fecha rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Kg/cm ²	
5/2/25	12/2/25	7	2,43	15,07	187,3	
5/2/25	12/2/25	7	2,44	16,74	207,7	197,50
5/2/25	12/2/25	7	2,40	15,90	197,7	
5/2/25	19/2/25	14	2,45	19,45	241,8	
5/2/25	19/2/25	14	2,41	19,78	245,9	242
5/2/25	19/2/25	14	2,45	19,21	238,3	
5/2/25	5/3/25	28	2,46	24,89	308,8	
5/2/25	5/3/25	28	2,47	24,78	308,1	307,50
5/2/25	5/3/25	28	2,45	24,67	305,5	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la Tabla 11 se detalla cómo cambia la resistencia a compresión del concreto añadiendo 2,5kg/m³ de macrofibra sintética a la mezcla, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 197,5 kg/cm², 242 kg/cm² y 307 kg/cm², respectivamente.

Tabla 12.Resistencia de probetas a la compresión hormigón con 5kg/m³ de fibra sintética

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Kg/cm ²	
5/2/25	12/2/25	7	2,43	17,38	215,6	
5/2/25	12/2/25	7	2,44	17,14	213,1	214,40
5/2/25	12/2/25	7	2,42	17,26	214,6	
5/2/25	19/2/25	14	2,46	19,65	244,3	
5/2/25	19/2/25	14	2,46	20,15	250,5	249,1
5/2/25	19/2/25	14	2,47	20,35	252,5	
5/2/25	5/3/25	28	2,49	24,78	307,4	
5/2/25	5/3/25	28	2,49	24,85	308,9	308,7
5/2/25	5/3/25	28	2,47	25,01	309,7	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la Tabla 12 se detalla cómo cambia la resistencia a compresión del concreto añadiendo 5kg/m³ de macrofibra sintética a la mezcla, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 214,4 kg/cm², 249,1 kg/cm² y 308,7 kg/cm², respectivamente.

Observando los resultados de añadir fibra sintética a la mezcla del concreto se determina una mejora en los resultados a compresión respecto al hormigón sin fibra, llegando a una resistencia de 308,7kg/cm² lo que significa un 9% de incremento. Adicional, se logra de determinar que el añadir 5kg/m³ de fibra no fue significativo respecto a ganar una mayor resistencia a la compresión con 2,5kg/m³.

4.1.3.3. Resistencia a compresión de probetas de hormigón con adición de 2,5kg y 5kg de fibra reciclada

Se efectuaron pruebas de compresión en probetas curadas bajo condiciones controladas para evaluar la resistencia a compresión del hormigón convencional, al que se añadieron 2,5 kg y 5 kg de fibra reciclada hecha de botellas de plástico. Estos ensayos se llevaron a cabo a los 7, 14 y 28 días, permitiendo observar cómo se desarrollaba la resistencia con el paso del tiempo. La tabla 13 a continuación detalla los valores resultantes de resistencia a la compresión obtenidos para cada conjunto de especímenes en las diferentes etapas ensayadas:

Tabla 13.

Resistencia de probetas a la compresión hormigón con 2,5Kg de fibra reciclada

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm3	Carga Ton	Resistencia Kg/cm2	
5/2/25	12/2/25	7	2,43	13,79	171,0	
5/2/25	12/2/25	7	2,44	14,24	177,0	174,00
5/2/25	12/2/25	7	2,46	14,01	173,8	
5/2/25	19/2/25	14	2,42	19,52	242,7	
5/2/25	19/2/25	14	2,42	19,89	247,2	240,6
5/2/25	19/2/25	14	2,42	18,7	232,0	
5/2/25	5/3/25	28	2,43	23,98	297,5	
5/2/25	5/3/25	28	2,46	24,19	300,7	298,8
5/2/25	5/3/25	28	2,43	24,08	298,2	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la tabla 13 se detalla cómo cambia la resistencia a compresión del concreto añadiendo 2,5kg de fibra reciclada a la mezcla, evaluada a los 7, 14 y 28 días de

curado, mostrando valores promedio de 174 kg/cm², 240,6 kg/cm² y 298,8 kg/cm², respectivamente.

Tabla 14.

Resistencia de probetas a la compresión hormigón con 5Kg de fibra reciclada

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Kg/cm ²	
5/2/25	12/2/25	7	2,43	12,7	157,9	
5/2/25	12/2/25	7	2,44	14,11	175,1	166,40
5/2/25	12/2/25	7	2,46	13,41	166,5	
5/2/25	19/2/25	14	2,46	18,75	233,1	
5/2/25	19/2/25	14	2,45	18,8	233,7	237,8
5/2/25	19/2/25	14	2,43	19,88	246,7	
5/2/25	5/3/25	28	2,46	23,45	290,9	
5/2/25	5/3/25	28	2,47	24,55	305,2	304,6
5/2/25	5/3/25	28	2,45	25,65	317,7	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la tabla 14 se detalla cómo cambia la resistencia a compresión del concreto añadiendo 5kg de fibra reciclada a la mezcla, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 166,4 kg/cm², 237,8 kg/cm² y 304,6 kg/cm², respectivamente.

Analizando los resultados obtenidos se determina que añadir fibra reciclada a la mezcla, ayuda a mejorar la resistencia a la compresión comparado al hormigón convencional, sin embargo, aunque no hubo una diferencia significativa en la mezcla con 5kg de fibra reciclada no tuvo mejores resultados frente a la mezcla con 2,5kg ya

que la varias fueron solo de un 2%. La comparativa con la fibra reciclada nos demuestra que, a pesar de mejorar la resistencia a la compresión, la macro fibra sintética tuvo una leve mejora en los resultados.

4.1.3.4. Resistencia a flexión de probetas de hormigón tradicional

A pesar de que este concreto fue diseñado a compresión en este apartado se evaluara el hormigón 280kg/cm² a la flexión, por lo tanto, el módulo de ruptura esperado a los 28 días es de 3,25 Mpa.

En esta sección, como se muestra en la tabla 16, las probetas para el ensayo de flexión tienen unas dimensiones de 15 cm de ancho, 15 cm de altura y 20 cm de largo.

Tabla 15.

Dimensiones de probetas a flexión

	Medida
Ancho	15cm
Altura	15cm
Largo	50cm
Área	225cm ²
Volumen	11250cm ³

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025)

Se tomaron un total de 54 probetas, las cuales fueron sumergidas en agua durante 7, 14 y 28 días, para luego ser sometidas a pruebas de resistencia a la flexión.

Las muestras se agruparon en 9 probetas para cada tipo de hormigón, y se utilizaron 3 probetas para realizar el ensayo de flexión a los 7 días, con la adición de 2,5 kg y 5 kg de cada tipo de fibra. Este mismo procedimiento se repitió para las probetas a los 14 y 28 días.

Las probetas fueron sometidas a ensayos de flexión mediante una prensa hidráulica universal, con el fin de evaluar su resistencia bajo condiciones controladas. Durante estas pruebas, se aplicó una carga progresiva hasta alcanzar el punto de fallo o deformación, lo que permitió determinar la capacidad de las probetas para resistir las cargas. Los resultados obtenidos proporcionan información detallada sobre el comportamiento de las probetas frente a la flexión, y los datos obtenidos se presentan en la Tabla 15 a continuación.

Tabla 16.

Resistencia de probetas a la flexión hormigón tradicional

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Mpa	
5/2/25	12/2/25	7	2,86	2,81	3,43	
5/2/25	12/2/25	7	2,86	2,82	3,44	3,44
5/2/25	12/2/25	7	2,87	2,83	3,45	
5/2/25	19/2/25	14	2,89	3,09	3,78	
5/2/25	19/2/25	14	2,89	3,10	3,80	3,78
5/2/25	19/2/25	14	2,89	3,08	3,77	
5/2/25	5/3/25	28	2,90	3,06	3,74	
5/2/25	5/3/25	28	2,91	3,07	3,76	3,74
5/2/25	5/3/25	28	2,91	3,05	3,73	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

La tabla 16 detalla cómo cambia la resistencia a flexión del concreto con el tiempo, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 3,43 Mpa, 3,78 Mpa y 3,74 Mpa, respectivamente. Los resultados a la flexión alcanzan la mayor parte de su resistencia a los 7 días; sin embargo, en este ensayo se destaca que la rotura a los 7 días reflejó más del 100% de su resistencia. Esto es a causa de

que las cantidades de materiales en el hormigón están diseñadas a 280kg/cm² el cual es un ensayo a la compresión, mientras que un diseño evaluado a la flexión puede diferir en las cantidades de materiales utilizados lo que provocó sobrepasar la resistencia esperada de 3,25 Mpa (Figura 16).

Figura 17.

Resistencia a flexión de probetas



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

4.1.3.5. Resistencia a flexión de probetas de hormigón 2,5Kg y 5kg de fibra sintética

Se llevaron a cabo ensayos de flexión en especímenes mantenidos en condiciones controladas de curado para analizar la resistencia a flexión del hormigón tradicional, al cual se incorporaron 2,5 kg y 5 kg de macrofibra sintética por metro

cúbico. Las pruebas se realizaron a los 7, 14 y 28 días, lo que permitió seguir la evolución de la resistencia a lo largo del tiempo. La tabla 16 siguiente presenta los resultados detallados de la resistencia a flexión registrados para cada grupo de probetas en las distintas fases de evaluación:

Tabla 17.

Resistencia de probetas a la flexión hormigón con 2,5Kg/m³ de fibra sintética

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Mpa	
5/2/25	12/2/25	7	2,80	3,22	3,94	
5/2/25	12/2/25	7	2,79	3,24	3,96	3,94
5/2/25	12/2/25	7	2,79	3,23	3,94	
5/2/25	19/2/25	14	2,89	3,98	4,86	
5/2/25	19/2/25	14	2,86	3,89	4,73	4,88
5/2/25	19/2/25	14	2,87	4,15	5,06	
5/2/25	5/3/25	28	2,97	4,15	5,06	
5/2/25	5/3/25	28	2,97	4,25	5,2	5,14
5/2/25	5/3/25	28	2,97	4,22	5,16	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025)

En la tabla 17 se detalla cómo cambia la resistencia a flexión del concreto del concreto sin fibra en la mezcla, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 3,94 Mpa, 4,88 Mpa y 5,14 Mpa. respectivamente.

También se observa como la probeta sometida a ensayos de flexión, elaborada con macrofibra sintética, evidenció una mejora significativa desde la primera rotura registrada a los 7 días de curado, obteniendo a los 28 días casi un 40% más de resistencia en comparación con el hormigón convencional sin fibra. Este comportamiento destaca la capacidad de las fibras sintéticas para incrementar la resistencia a la tracción indirecta y la tenacidad del material, permitiendo que, tras la

aparición de la primera fisura, el concreto mantuviera una mayor integridad estructural y soportara cargas adicionales antes de colapsar, a diferencia del hormigón sin refuerzo, que mostró una fractura más frágil y repentina bajo las mismas condiciones.

Tabla 18.

Resistencia de probetas a la flexión hormigón con 5Kg/m³ de fibra sintética

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Mpa	
5/2/25	12/2/25	7	2,75	3,19	3,91	
5/2/25	12/2/25	7	2,75	3,24	3,96	3,93
5/2/25	12/2/25	7	2,77	3,22	3,92	
5/2/25	19/2/25	14	2,90	4,01	4,90	
5/2/25	19/2/25	14	2,86	3,98	4,85	4,91
5/2/25	19/2/25	14	2,87	4,10	5,00	
5/2/25	5/3/25	28	2,96	4,18	5,10	
5/2/25	5/3/25	28	2,97	4,27	5,22	5,18
5/2/25	5/3/25	28	2,98	4,27	5,22	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025)

En la tabla 18 se detalla cómo cambia la resistencia a flexión del concreto del concreto sin fibra en la mezcla, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 3,93 Mpa, 4,91 Mpa y 5,18 Mpa, respectivamente.

La probeta de hormigón reforzada con fibra sintética, al ser evaluada en ensayos de flexión, mostró una notable mejora desde la primera fractura detectada a los 7 días de curado en comparación con el hormigón tradicional sin fibras. Este resultado resalta cómo las fibras sintéticas potencian de manera significativa la capacidad del material para resistir esfuerzos de tracción indirectos y aumentan su

capacidad de absorber energía, permitiendo que, tras la formación inicial de grietas, el concreto conservara mayor estabilidad y resistiera cargas adicionales antes de fallar completamente, a diferencia del hormigón sin fibras, que presentó una ruptura más abrupta y frágil bajo las mismas condiciones. No obstante, al analizar las probetas con 5 kg/m³ de fibra sintética frente a las de 2,5 kg/m³, no se apreció una diferencia significativa en el comportamiento de la rotura.

4.1.3.6. Resistencia a flexión de probetas de hormigón 2,5Kg y 5kg de fibra reciclada

Se llevaron a cabo ensayos de flexión en las probetas para analizar la resistencia a flexión del hormigón tradicional, al cual se incorporaron 2,5 kg/m³ y 5 kg/m³ de fibra reciclada por metro cúbico. Las pruebas se realizaron a los 7, 14 y 28 días, lo que permitió seguir el comportamiento de la resistencia a lo largo del tiempo. La tabla 20 siguiente presenta los resultados detallados de la resistencia a flexión registrados para cada grupo de probetas en las distintas fases de ensayo:

Tabla 19.Resistencia de probetas a la flexión hormigón con 2,5Kg/m³ de fibra reciclada

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Mpa	
5/2/25	12/2/25	7	2,81	2,89	3,53	
5/2/25	12/2/25	7	2,82	2,89	3,53	3,53
5/2/25	12/2/25	7	2,82	2,89	3,54	
5/2/25	19/2/25	14	2,86	3,25	3,98	
5/2/25	19/2/25	14	2,87	3,26	3,99	3,98
5/2/25	19/2/25	14	2,87	3,25	3,99	
5/2/25	5/3/25	28	2,95	3,97	4,86	
5/2/25	5/3/25	28	2,96	3,96	4,85	4,85
5/2/25	5/3/25	28	2,95	3,94	4,83	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025)

En la tabla 19 se detalla cómo cambia la resistencia a flexión del concreto del concreto sin fibra en la mezcla, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 3,53 Mpa, 3,98 Mpa y 4,85 Mpa, respectivamente.

La probeta sometida a ensayos de flexión, elaborada con fibra reciclada observada en la tabla 20, no exhibió una mejora significativa desde la primera rotura registrada a los 7 días de curado en comparación con el hormigón convencional sin fibra. Este resultado sugiere que, en esta etapa inicial, las fibras recicladas no lograron potenciar de manera notable la resistencia a la tracción indirecta ni la tenacidad del material, ya que el comportamiento tras la aparición de la primera fisura fue similar al del hormigón sin refuerzo; sin embargo, a los 28 días se refleja una mejora considerable en la resistencia a la flexión llegando hasta un 30% más en la resistencia.

Tabla 20.

Resistencia de probetas a la flexión hormigón con 5Kg de fibra reciclada

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad en días	Densidad g/cm ³	Carga Ton	Resistencia Mpa	
5/2/25	12/2/25	7	2,83	2,99	3,66	
5/2/25	12/2/25	7	2,82	2,99	3,65	3,66
5/2/25	12/2/25	7	2,82	2,99	3,67	
5/2/25	19/2/25	14	2,88	3,55	4,33	
5/2/25	19/2/25	14	2,88	3,55	4,07	4,11
5/2/25	19/2/25	14	2,86	3,25	3,95	
5/2/25	5/3/25	28	2,96	3,99	4,88	
5/2/25	5/3/25	28	2,98	4,01	4,91	4,89
5/2/25	5/3/25	28	3	4,99	4,88	

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025)

En la Tabla 20 se detalla cómo cambia la resistencia a flexión del concreto del concreto sin fibra en la mezcla, evaluada a los 7, 14 y 28 días de curado, mostrando valores promedio de 3,66 Mpa, 4,11 Mpa y 4,89 Mpa, respectivamente.

En la Tabla 19 se muestra que, al incorporar 5 kg de fibra reciclada por metro cúbico, se genera una ligera mejora en la resistencia a la flexión, aunque este incremento no resultó considerable frente a los 2,5kg/m³ de fibra en la mezcla, ya que el comportamiento del material continuó siendo similar al del hormigón reforzado con 2,5kg/m³ de fibra reciclada.

4.1.4. Comparación los resultados de la resistencia y evaluar la viabilidad del costo.

Una vez recopilados todos los resultados de los ensayos de compresión y flexión realizados a los 7, 14 y 28 días en probetas de hormigón convencional y reforzado con fibras (como macrofibras sintéticas o recicladas en dosis de 2,5 kg/m³ y 5 kg/m³), es posible realizar una comparativa global de las resistencias obtenidas. En el caso de la compresión, se puede analizar cómo la adición de fibras afecta la resistencia máxima (f'_c) y la ductilidad post-fallo, observando si los incrementos o decrementos son significativos (por ejemplo, superiores al $\pm 10\%$) frente al hormigón sin refuerzo. Para la flexión, la evaluación se centra en la resistencia a la tracción indirecta (f'_r) y la tenacidad, determinando si las mejoras (como aumentos del 20% o más en el Módulo de Ruptura) justifican el uso de fibras en aplicaciones específicas, como pavimentos o losas, donde la capacidad de soportar esfuerzos de doblado es crucial.

4.1.4.1 Comparación de resultados a la compresión

Los ensayos de compresión realizados en probetas de hormigón, a las que se añadieron 2,5 kg/m³ y 5 kg/m³ de fibra reciclada por metro cúbico, mostraron que esta incorporación mejoró el comportamiento mecánico del material en términos de resistencia a la compresión (f'_c) lo cual difiere del estudio realizado por Vaccaro (2021) en donde el añadir fibra a mezcla no incremento la resistencia. Los resultados indicaron que la adición de fibra reciclada, como PET proveniente de botellas, generó un incremento de hasta 8% en la capacidad máxima de soportar cargas axiales ni en la ductilidad post-fallo, manteniendo valores de resistencia similares o incluso ligeramente inferiores al hormigón reforzado con macro fibra sintética que obtuvo un 10% más de resistencia, lo que sugiere que las fibras recicladas no aportaron un beneficio notable en este aspecto. Este comportamiento podría atribuirse a una interacción limitada entre las fibras recicladas y la matriz cementicia, o a una posible reducción en la compactación de la mezcla.

Figura 18.

Resultados de Compresión

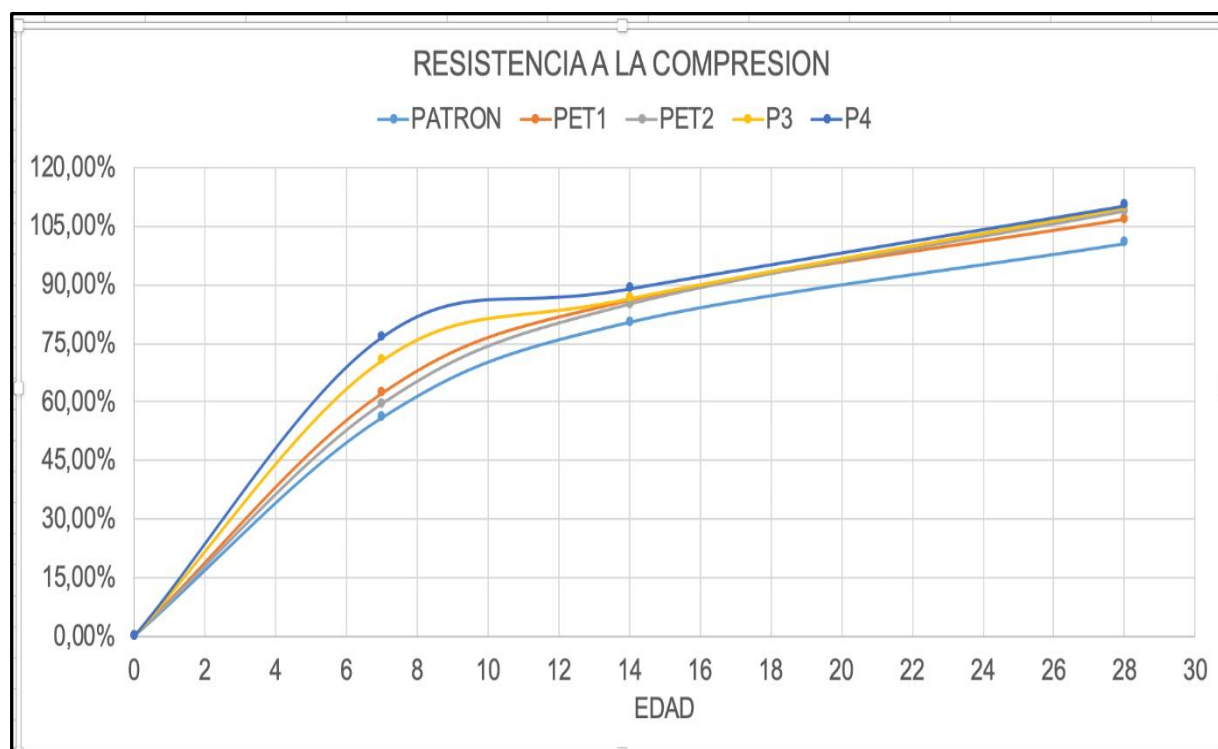


Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la Figura 17 se demuestran los porcentajes de resistencia a la compresión alcanzados por el hormigón en las diferentes pruebas realizadas hasta los 28 días de curado donde las curvas Pet 1 y Pet 2 son las de fibra reciclada mientras que la P3 y P4 con fibra sintética. Comparando el comportamiento del hormigón convencional con aquel al que se añadieron 2,5 kg y 5 kg de fibra reciclada y fibra sintética por metro cúbico. Se observa que tanto el hormigón con fibra reciclada como el hormigón con macro fibra sintética mantuvo valores cercanos al de referencia sin mejoras notables a los 28 días. Estos datos gráficos permiten visualizar cómo evolucionó la capacidad de soportar cargas axiales en cada caso, destacando las diferencias entre los tipos de fibra y sus respectivas dosis a lo largo del período de curado.

Figura 19.

Curva de ensayo a compresión



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

Por otro lado, al incorporar fibra sintética en las mismas proporciones (2,5 kg/m³ y 5 kg/m³), el hormigón exhibió una mejora en su desempeño a la compresión. Aunque el aumento en la resistencia máxima (f'_c) no fue drástico, se observó un incremento leve pero significativo acompañado de una mayor ductilidad tras alcanzar el pico de carga, lo que indica que las macrofibras sintéticas, como polipropileno o macrofibras diseñadas específicamente, contribuyeron a una mejor distribución de esfuerzos y preservación de la integridad estructural post-fisuración pero esta diferencia no resalta una superioridad de las fibras sintéticas sobre las recicladas en términos de refuerzo mecánico para la compresión.

El incremento en la cantidad de fibra de 2,5 kg/m³ a 5 kg/m³, tanto en el caso de fibra reciclada como sintética, no produjo un impacto considerable en las propiedades mecánicas del hormigón evaluadas en los ensayos de compresión y flexión. Los resultados muestran que, aunque la adición inicial de 2,5 kg ya aporta ciertas mejoras (como un leve aumento en la ductilidad o tenacidad en los dos casos),

duplicar la dosis a 5 kg/m^3 no se traduce en un beneficio proporcional ni significativo, manteniendo las resistencias a compresión (f'_c) y flexión (f'_r) dentro de rangos similares, con variaciones que no superan el umbral de relevancia práctica (por ejemplo, menos del 10% en f'_c y 20% en f'_r).

Figura 20.

Impacto de la compresión



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

Este comportamiento sugiere que existe un límite a partir del cual añadir más fibra no optimiza el desempeño del hormigón, probablemente debido a una saturación en la capacidad de las fibras para interactuar efectivamente con la matriz o a una posible reducción en la trabajabilidad y compactación de la mezcla.

4.1.4.2 Comparación de resultados a la flexión

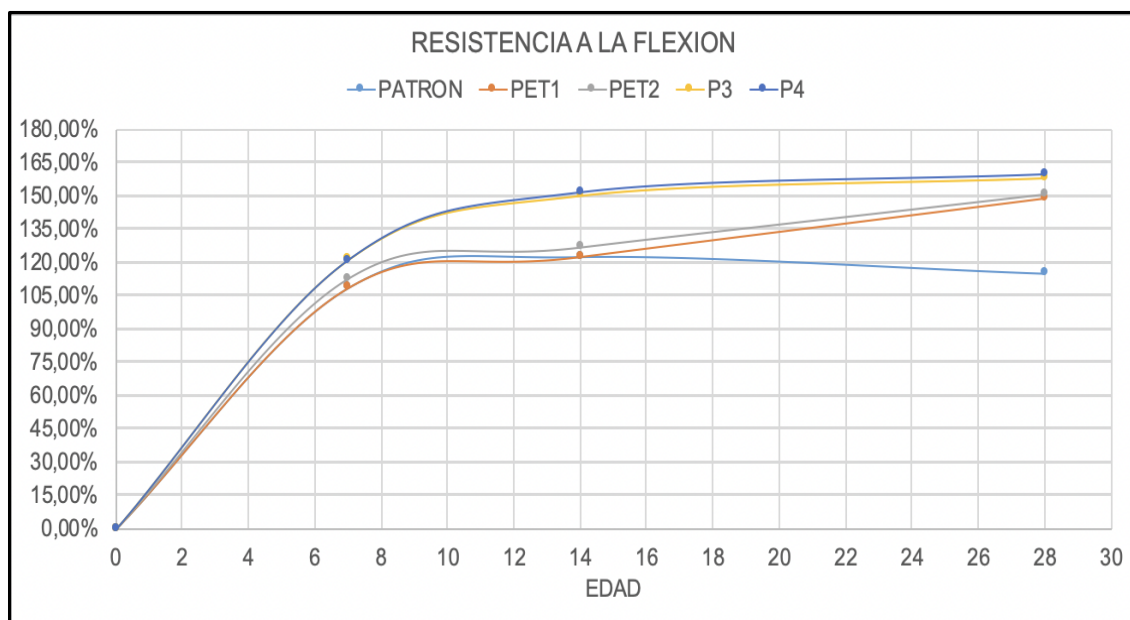
En la Figura 18 muestra los porcentajes de resistencia a la flexión obtenidos en las pruebas realizadas hasta los 28 días de curado, comparando el hormigón convencional con aquel reforzado con $2,5 \text{ kg/m}^3$ y 5 kg/m^3 de macrofibra reciclada y fibra sintética por metro cúbico. Se aprecia cinco curvas en donde el hormigón tradicional representa el menor porcentaje de resistencia a los 28 días; sin embargo, el concreto con fibra reciclada presentó una mejora del 35% en la resistencia a la

flexión (f_r), mientras que el reforzado con fibra sintética exhibió un aumento más considerable y evidente al alcanzar incremento de casi 45% a los 28 días.

Estos resultados gráficos reflejan similitud con los de Ojeda (2020) ya que en su investigación añadir fibra a la mezcla incremento hasta un 50% la resistencia a la flexión. La evolución de la capacidad del material para soportar esfuerzos de tracción indirectos en cada caso, resaltando las diferencias entre los tipos de fibra y sus dosis a lo largo del tiempo de curado.

Figura 21.

Curva de ensayos a flexión



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

Los ensayos de flexión realizados en probetas de hormigón revelaron que la incorporación de fibra reciclada, como PET proveniente de botellas, resultó en una leve mejora en la resistencia a la flexión (f_r) en comparación con El hormigón convencional sin refuerzo.

Esta mejora, observada a los 7, 14 y 28 días de curado, se manifestó en un incremento modesto de la capacidad para soportar esfuerzos de tracción indirectos y una ligera reducción en la propagación de fisuras, aunque no alcanzó niveles que pudieran considerarse significativos.

Este comportamiento indica que las fibras recicladas aportan un refuerzo limitado en flexión, posiblemente debido a su menor resistencia intrínseca o a una interacción menos efectiva con la matriz cementicia, lo que las hace más adecuadas para aplicaciones donde el control de fisuras es prioritario frente a un aumento notable en la resistencia.

Por el contrario, al añadir fibra sintética en las mismas proporciones ($2,5 \text{ kg/m}^3$ y 5 kg/m^3), el hormigón mostró una mejora considerable en su desempeño a la flexión, con incrementos en el Módulo de Ruptura (f_r) que superaron el 20-30% respecto al hormigón sin fibras, junto con una mayor tenacidad post-fisuración. Sin embargo, al aumentar la dosis de fibra de $2,5 \text{ kg/m}^3$ a 5 kg/m^3 , tanto en el caso de la fibra reciclada como sintética, no se observó una influencia significativa adicional en la resistencia a la flexión. Las variaciones registradas se mantuvieron dentro de un rango mínimo (menor al 10% adicional), sugiriendo que el efecto de las fibras alcanza un punto de saturación más allá del cual el incremento en la cantidad no justifica mejoras notables, probablemente por limitaciones en la dispersión o la compactación de la mezcla, lo que destaca la importancia de optimizar la dosificación para equilibrar costo y beneficio mecánico.

Figura 22.

Resultados de la flexión



Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

4.1.4.3 Costos

Esta comparativa global también permite evaluar la viabilidad económica del uso de fibras en el hormigón, considerando el costo adicional de incorporarlas frente a los beneficios mecánicos obtenidos. Por ejemplo, si las fibras recicladas (como PET) ofrecen mejoras modestas en flexión (ej. 10-15%) pero no en compresión, su bajo costo podría hacerlas viables para proyectos sostenibles con requerimientos moderados.

En cambio, si macrofibras sintéticas de 5 kg/m³ elevan significativamente la resistencia a flexión (ej. 30-50%) pero implican un costo elevado, su uso sería más justificable en estructuras críticas donde la durabilidad y el desempeño bajo cargas dinámicas compensen la inversión. Así, la decisión final integra el análisis técnico de los ensayos con un estudio de costo-beneficio adaptado al propósito del proyecto.

Tabla 21.

Dosificación de hormigón 280kg/cm²

Material	Cantidad (kg)	Costo
Cemento	370	\$ 65,60
Piedra 19mm	759	\$ 12,38
Arena	1139	\$ 16,08
Aditivo	3,7	\$ 5,60
Agua	193	\$ 1,20
TOTAL		\$100,86

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

En la tabla 21 se pueden observar el costo de cada material utilizado para la fabricación de 1m³ de hormigón en resistencia 280kg/cm².

Tabla 22.

Costo de hormigón con la adición de fibra sintética y reciclada

Material	Costo de la Fibra	Hormigón tradicional + Costo de cada fibra
Macrofibra sintética 2.5 Kg	\$32,50	\$ 133,36
Macrofibra sintética 5 kg	\$65,00	\$ 165,86
Fibra reciclada 2.5 kg	\$ 1,25	\$ 102,11
Fibra reciclada 5 kg	\$ 2,50	\$ 103,36

Elaborado por: Colcha y Maridueña (2025).

La Tabla 22 muestra el costo del hormigón tradicional y el efecto del agregado de diferentes tipos y cantidades de fibras en su costo total. Se estructura en varias secciones, comparando el hormigón convencional con distintas combinaciones de fibras sintéticas.

Se logró evidenciar en relación a los costos del hormigón tradicional más la microfibra sintética de 2.5 kg/m³ que es el 24% más elevado en relación a el hormigón tradicional con la fibra reciclada 2.5 kg/m³. En el caso del hormigón tradicional más la microfibra sintética de 5 kg/m³ es el 38% más elevado en relación a el hormigón tradicional con la fibra reciclada 5 kg/m³.

Lo que evidencia que la macrofibra sintética aumenta significativamente el valor a comparación con el uso de la fibra reciclada, lo que representa una opción más económica. Destacando, que los resultados para la microfibra sintética son mejor frente a la reciclada por lo tanto en términos de valor monetario es la mejor opción.

CONCLUSIONES

- Se efectuó la respectiva caracterización de los materiales de la mezcla del hormigón mediante ensayos físicos, donde mediante el análisis granulométrico se determinó que el agregado fino y el agregado grueso, se ajustan a los rangos definidos por la norma técnica correspondiente, como la INEN 872.
- En relación a la determinar las cantidades de materiales para el diseño de un hormigón 280 kg/cm² convencional y dos con adición de fibras, se evidenció que se requería de 370 kg de cemento, 759 kg de piedra de 19 mm, 1139 kg de arena, 3.7 kg de aditivo, 193 lts de agua, 2,5 kg de macrofibra reciclada, 5 kg de macrofibra reciclada.
- Se realizó el cálculo de la resistencia a la flexión y compresión de un hormigón convencional y uno reforzado con macrofibras, donde los resultados de este estudio indican que la adición de hasta un 2,5kg/m³ y 5kg/m³ de estas fibras puede mejorar significativamente las propiedades mecánicas del hormigón, garantizando su resistencia y durabilidad, donde se pudo demostrar que la probeta sometida a ensayos de flexión, elaborada con macrofibra sintética, evidenció una mejora significativa desde la primera rotura registrada a los 7 días de curado, obteniendo a los 28 días casi un 40% más de resistencia en comparación con el hormigón convencional.
- Además, se determinó una mejora en los resultados a compresión respecto al hormigón sin fibra, llegando a una resistencia de 308,7kg/cm² lo que significa un 9% de incremento. Adicional, se logra de determinar que el añadir 5kg/m³ de fibra no fue significativo respecto a ganar una mayor resistencia a la compresión con 2,5kg/m³.
- En cuanto a los costos de producción de hormigón armado, se logró evidenciar en relación a los costos del hormigón tradicional más la microfibra sintética de 2.5 kg/m³ que es el 24% más elevado en relación a el hormigón tradicional con la fibra reciclada 2.5 kg/m³. En el caso del hormigón tradicional más la microfibra

sintética de 5 kg/m^3 es el 38% más elevado en relación a el hormigón tradicional con la fibra reciclada 5 kg/m^3 .

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar la incorporación de fibras recicladas provenientes de botellas de plástico como material en hormigones tradicionales, especialmente para aquellos investigadores interesados en el desarrollo de materiales sostenibles e innovadores en la construcción.

Se recomienda llevar a cabo un estudio detallado sobre las fibras plásticas recicladas empleadas, con el objetivo de identificar los factores específicos que contribuyen a la mejora del hormigón. En este sentido, se podría analizar cómo la composición y estructura de las fibras influyen en su adherencia con la matriz cementicia, así como su resistencia química y mecánica dentro del material. Aspectos como el tipo de polímero, la morfología de las fibras y su capacidad para distribuir esfuerzos podrían desempeñar un papel clave en el refuerzo del hormigón, favoreciendo una mayor resistencia a cargas, reduciendo la propagación de fisura.

Efectuar estudios sobre el conocimiento más preciso de las propiedades del hormigón donde se pueda modificar sus características a través de tratamientos físicos o químicos, como la texturización o la incorporación de otros tipos de fibras, con el fin de mejorar su compatibilidad con la matriz cementicia.

Para expandir las alternativas sostenibles en la industria de la construcción, es importante considerar la incorporación de otras fibras derivadas de residuos reciclados, como el vidrio de botellas y el caucho de llantas. Estos materiales, al igual que las fibras provenientes de botellas plásticas, podrían presentar propiedades que aporten mejoras significativas a las características del hormigón, brindando beneficios similares o incluso superiores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, A. C. (2008). *Nuevas tecnologías en concretos*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11191/10009>
- Abousnina, R., Premasiri, S., Anise, V., Lokuge, W., Vimonsatit, V., Ferdous, W., & Alajarmeh, O. (2021). Mechanical Properties of Macro Polypropylene Fibre-Reinforced Concrete. *Polymers*, 13(23), 4112. doi:<https://doi.org/10.3390/polym13234112>
- Ahmad, J., & Zhou, Z. (2022). Mechanical Properties of Natural as well as Synthetic Fiber Reinforced Concrete: A Review. *Construction and Building Materials*, 333. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127353>
- Álvarez, L., & Silva, Y. (2020). *ANÁLISIS DE COSTO Y TIEMPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA EN CONCRETO DEL CONCESIONARIO AUTOMOTRIZ FORD AV BOYACÁ 170-97 CON LA INCLUSIÓN DE MACROFIBRAS SINTÉTICAS Y LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM*. Obtenido de [Tesis de grado. Uuniversidad Católica de Colombia]: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d58b8f8-579b-4f14-b59c-1a8558978fdd/content>
- Arboleda, G. (2018). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO, REEMPLAZANDO LA MALLA ELECTRO SOLDADA POR FIBRAS SINTÉTICAS*. Obtenido de https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/1564/ESTUDIO_FACTIBILIDAD_T%c3%89CNICA_ECON%c3%93MICA_ELABORACI%c3%93N_CONCRETO_REEMPLAZANDO_MALLA_ELECTRO_SOLDADA_FIBRAS_SINT%c3%89TICAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Asto, J., & Quiroz, R. (2021). *Desempeño de la macrofibra sintética para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. [Tesis de grado. Universidad Ricardo Palma]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4706>

- Ávila, G., & Parrilla, Y. (2021). *Influencia de las fibras PET recicladas en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en Tumbes, 2021*. Obtenido de [Tesis de grado. Universidad César Vallejo]: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65734>
- Barboza, D., & Burga, R. (2023). *Análisis Comparativo de la Fibra de Nylon y Fibra de Polipropileno Para Mejorar las Propiedades Mecánicas del Concreto*. [Tesis de grado. Universidad Señor de Sipán]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11086>
- Botero, C., & Marín, F. (2021). *Revisión de literatura acerca de las variables que inciden en el comportamiento sísmico de muros delgados de concreto reforzado*. [Tesis de maestría. Universidad de Antioquia]. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/20745>
- Briceño, J., Barreto, R., & Guerrero, Y. (2025). Estimation of Tensile Strength in Soils Reinforced with Synthetic Fibers. *INGENIO*, 8(1), 43-51. doi:<https://doi.org/10.29166/ingenio.v8i1.7141>
- Cáceres, S. H. (2024). *Revista internacional de contaminación ambiental*. Obtenido de Estudio experimental del uso de residuos de botellas de plástico en el hormigón convencional: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992024000100104
- Campos, M., & Sanchez, L. (2025). *Resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras metálicas: una revisión sistemática*. [Tesis de grado. Universidad Señor de Sipán]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/14384>
- Campoy, N., Chávez, O., Rojas, E., Gaxiola, J., & Millán, J. R. (2021). Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 22(1). doi:<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.1.007>
- Clarke, T., Ghiji, M., Fragomeni, S., & Guerrieri, M. (2022). Mechanical properties of macro synthetic fiber reinforced concrete at elevated temperatures: A

- systematic review and meta-analysis. *Structural Concrete*, 24(1), 1244-1270. doi:<https://doi.org/10.1002/suco.202100918>
- Conopoima, Y. (2022). Las islas de plástico su vinculación ambiental en el Ecuador. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5(2), 96 - 103. Obtenido de <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/381/379>
- Dönmez, A., & Bažant, Z. (2024). Crítica de la CSCT para los artículos del Código Modelo sobre la resistencia a cortante y su efecto de escala en vigas de hormigón armado. *Hormigón Y Acero*, 75(302-303), 41-53. doi: <https://doi.org/10.33586/hya.2024.3138>
- Esparza, F. (2024). *Estudio del comportamiento a tracción de concretos UHPC con elevado contenido de vidrio reciclado y reforzado con fibras recicladas y comerciales*. Obtenido de [Tesis de grado. Universidad del Norte]: <http://hdl.handle.net/10584/12863>
- EUCOMEX, E. C. (Abril de 2023). Obtenido de <https://www.eucomex.com.mx/portafolio/productos/aditivos/fibras-sinteticas/tuf-strand-sf/>
- Gómez, M. M., Arreola, M., Navarrete, M., Borrego, J., Cervantes, A., & J., P. (2025). Modificación de propiedades mecánicas del concreto permeable adicionado con residuos de PET y macrofibras sintéticas. *Ingeniería Investigación y tecnología*, 26(1), 1-11. doi:https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.22201%2Ffi.25940732e.2025.26.1.002%0D?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
- Gülmez, N. (2021). Performance of marble powder on cementitious composites including waste steel chips as an additive. *Construction and Building Materials*, 312, 125369. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125369>
- Holcim. (2024). *Características del cemento Holcim Premium Tipo HE*. Guayaquil: Holcim. Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-premium>
- Lopez, J. (2014). *PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO MODIFICADO A BASE DE FIBRAS DE NYLON Y POLIPROPILENO PARA SU USO EN*

ELEMENTOS ESTRUCTURALES. Obtenido de
http://www.repositorio.usac.edu.gt/957/1/08_3689_C.pdf

Ludwik, G. (2023). The Phenomenon of Cracking in Cement Concretes and Reinforced Concrete Structures: The Mechanism of Cracks Formation, Causes of Their Initiation, Types and Places of Occurrence, and Methods of Detection—A Review. *Buildings*, 13(3), 765. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings13030765>

Maurello, J., Mondragón, K., & Romero, J. (2020). *Principales tipo de contracción, efectos sobre el concreto y sus métodos de mitigación. [Tesis de grado. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]* . Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1374>

Mehrabi, P., Dackermann, U., Siddique, R., & Rashidi, M. (2024). A Review on the Effect of Synthetic Fibres, Including Macro Fibres, on the Thermal Behaviour of Fibre-Reinforced Concrete. *Buildings*, 14(12), 4006. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings14124006>

Mendoza, C. J. (2011). *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*. Obtenido de Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido : https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000100003

Oblitas, J., & Villar, E. (2021). *Evaluación del concreto reforzado con fibras de acero recicladas para mejorar las propiedades de un pavimento rígido*. Lima: Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Obtenido de https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/8860/toribio_hdr-ugaz_aja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ojeda, J. P. (2020). *Revista internacional de contaminación ambiental*. Obtenido de DISEÑO Y ENSAYO DE FIBRAS PLÁSTICAS RECICLADAS PARA REFUERZO DE MORTERO: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992020000100055

- Ortiz, A., & Oyola, M. (2023). *La macrofibra sintética y su incidencia en las propiedades mecánicas del concreto $f'c$ 210 kg/cm², Lima*. Obtenido de [Tesis de grado. Universidad Tecnológica del Perú]: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/8904>
- Pérez, Y. I. (2022). Revisión sistemática de la literatura sobre la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de origen artificial-natural. *Ingeniería*, 5.
- Pira, J. (2022). *Evaluación del comportamiento inelástico en elementos de concreto reforzado con fibras cortas de acero sometidos a flexión: aplicación del método de fibras*. Obtenido de [Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia]: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/87059>
- Quenta-Flores, S. H.-C. (2024). *Estudio experimental del uso de residuos de botellas de plástico en el hormigón convencional*. Obtenido de Revista internacional de contaminación ambiental: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992024000100104
- Quinteros, J. (2020). *SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO ADICIONADOS CON FIBRAS PET*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/7de5bc4f-bf8d-4e78-91ea-447ac7584062/content>
- Ramírez, V., Montenegro, J., & Núñez, A. (2024). Mechanical Response of Steel Sheets with Perforations for Composite Floor Systems with Reinforced Concrete and the Application of Emitted Magnetic Signals as an Approximate Tool for Structural Monitoring. *Revista ingeniería de construcción*, 39(2), 200-218. doi:<https://dx.doi.org/10.7764/ric.00106.21>
- Rivera, K., & Pérez, A. (2023). *Aditivo de polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) en mezclas asfálticas en caliente para mejorar sus propiedades mecánicas*. Obtenido de [Tesis de grado. Universidad Ricardo Palma]: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/7287>

- Rojas, J. (Diciembre de 2023). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto utilizando sacarosa y macrofibra sintética, Pasco 2023*. [Tesis de grado. Universidad NAcional Daniel Alcides Carrion]. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3980>
- Saavedra, D. (2025). *Fibras naturales y sintéticas como refuerzo para el concreto: Estado del arte*. [Tesis de grado. Universidad Cooperativa de Colombia]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12494/58641>
- Saleem, S., Junaid, M., Wu, Y.-F., Patnaikuni, I., Zhoy, Y., & Xing, F. (2019). Axial stress-strain behavior of macro-synthetic fiber reinforced recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 97, 341-356. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.01.005>.
- Szewczak, A., & Szeląg, M. (2020). Physico-mechanical and rheological properties of epoxy adhesives modified by microsilica and sonication process. *Materials*, 13(23), 5310.
- Torres, D. (2017). Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstreams/78f81192-bb63-42a8-9230-a8350523f61b/download>
- Tošić, N. (2024). *Investigación experimental sobre los efectos del uso de árido reciclado y fibra reciclada en hormigón reforzado con fibras*. Obtenido de [Tesis de grado. Universitat Politècnica de Catalunya]: <http://hdl.handle.net/2117/416400>
- Vaccaro, P., Galvín, A., Ayuso, J., Barbudo, A., & López, A. (2021). Mechanical Performance of Concrete Made with the Addition of Recycled Macro Plastic Fibres. *Applied Sciences*, 11(21). doi:<https://doi.org/10.3390/app11219862>
- Vairagade, V., & Dhale, S. (2023). Hybrid fibre reinforced concrete – A state of the art review. *Hybrid Advances*, 3. doi:<https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100035>
- Valipour, M., Tabatabaie, P., & Mohammadinia, A. (2021). Application of recycled tire polymer fibers and glass fibers for clay reinforcement. *Transportation Geotechnics*, 27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100474>

- Vallejo, D. (2021). *Exploración de materiales reciclables para la sustitución de mallas electrosoldadas en el refuerzo de concreto en placas de piso. [Tesis de grado. Universidad de Antioquia]*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10495/21907>
- Zhang, C., Wang, Y., Zhang, X., Ding, Y., & Xu, P. (2021). Mechanical properties and microstructure of basalt fiber-reinforced recycled concrete. *Journal of Cleaner Production*, 278. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123252>.

ANEXOS

Anexo 1.

Diseño de Hormigón 280kg/cm²

Hormigones del Litoral

Control de Calidad

Planta Salitre



Diseño de Hormigón Hidráulico Convencional

Cliente : DISCOMPRO
Obra : BORDILLOS
Ubicación : VIA SANBORONDON
f'c especificada a la Compresión : 280 kg/cm² VACIADO DIRECTO
Tipo : RESISTENCIA A 28 DIAS Cod : 280R28Y13D

Elemento :
Asentamiento : 130 ± 25 mm según norma INEN 1 855 (5.1.2.- Tolerancias en el asentamiento)

Fecha de entrega : 09/ene/2025

Cuadro de rendimiento y proporciones en 1 m³

NOTA : Resistencia a la Compresión a 28 días

Método utilizado para el diseño : A.C.I. 211

Dosificación para 1 m³ de hormigón

Cemento **TIPO HE** 370 kg
Piedra basáltica de 19 mm 759 kg
Piedra basáltica de 10 mm 0 kg
Arena natural de Río 1.139 kg
Arena de trituración 0 kg
Agua 193 Lt

% de aditivo por peso del cemento
ADIFRANK ADIPLAST R 0,09% En planta 0,3 kg
ADIFRANK ADIPLAST 0,20% En obra 0,7 kg

R a/c = 0,52

DSSS (kg/m ³)	Volumen m ³	Mezcla de AG		Mezcla de AF		Mezcla total %
		Peso (kg)	%	Peso (kg)	%	
2900	0,128					
3068	0,247		100%			40%
3035	0,000	759	40	0%		0%
2646	0,430				100%	60%
				1.139	60	0%
1000	0,193					
Aire atrapado	0,010					
1200	0,000					
1200	0,001					
Total rendido	1,009					

Nota : Aditivo en obra en caso de pérdida de revenimiento

Atentamente .-

Ing. Jorge Luis Sánchez González.
Control de Calidad

Anexo 2.

Ensayo de rotura a la flexión del hormigón tradicional

RESULTADOS DE ENSAYOS EN PROBETAS DE HORMIGÓN DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN

SOLICITANTE : PEDRO MARIDUEÑA
FECHA : 5/MARZO/ 2024
TIPO : VIGA

RESISTENCIA A LA COMPRESION
RESISTENCIA A LA FLEXION
EDAD : 28 DIAS

: Fc 280 Kg/cm2
: Fr 3,25 Mpa



NORMA : ASTM C39M - INEN 1573

ENSAYO No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEMENTO	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA
FECHA DE FABRICACIÓN	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25
FECHA DE ENSAYO	12/2/25	12/2/25	12/2/25	19/2/25	19/2/25	19/2/25	5/3/25	5/3/25	5/3/25
EDAD (días)	7	7	7	14	14	14	28	28	28
DIMENSIONES	ANCHO (cm)	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
	ALTURA (cm)	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
	LUZ (cm)	45,75	45,75	45,74	45,74	45,74	45,75	45,76	45,75
	AREA (cm²)	238,08	238,08	238,08	237,93	237,62	237,62	238,08	237,93
	VOLUMEN(cm³)	10892	10892	10890	10883	10869	10871	10895	10885
PESO (Kg)	31,2	31,15	31,22	31,4	31,42	31,44	31,62	31,61	31,64
PESO UNITARIO (g/cm³)	2,86	2,86	2,87	2,89	2,89	2,89	2,9	2,91	2,91
CARGA DE RUPTURA (Ton)	2,81	2,82	2,83	3,09	3,1	3,08	3,06	3,07	3,05
RESISTENCIA (Mpa)	3,43	3,44	3,45	3,78	3,8	3,77	3,74	3,76	3,73
ESPECIFICACIÓN (MPa)	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
RESISTENCIA (%)	105,50%	105,80%	106,20%	116,30%	116,90%	116,00%	115,10%	115,70%	114,80%
PROMEDIO (%)	105,8%			116,4%			115,2%		

OBSERVACIONES : Muestreo y ensayos realizados en laboratorio

NOTA: Se adjunta sello de calibración de prensa



* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRESNA DE ROTURAS

Realizado por:

Jorge Luis Sanchez G. , Ing.
HORMILITORAL CIA. LTDA

email:

jorge.luis.sanchez12@gmail.com

Anexo 3.

Ensayo de rotura a la compresión del hormigón con 2,5kg de fibra sintética

RESULTADOS DE ENSAYOS EN PROBETAS DE HORMIGÓN DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN

SOLICITANTE : PEDRO MARIDUEÑA
FECHA : 5/MARZO/ 2024

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN : Fc 280 Kg/cm²
EDAD : 28 DÍAS
TIPO : CILINDRO



NORMA : ASTM C39M - INEN 1573

ENSAYO No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEMENTO	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA
FECHA DE FABRICACIÓN	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25
FECHA DE ENSAYO	12/2/25	12/2/25	12/2/25	19/2/25	19/2/25	19/2/25	5/3/25	5/3/25	5/3/25
EDAD (días)	7	7	7	14	14	14	28	28	28
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	202,0	202,0	202,0	202,0	203,0	202,0	201,0	202,0
	DIAMETRO (mm)	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,3	101,2	101,4
	AREA (cm ²)	80,44	80,60	80,44	80,44	80,44	80,60	80,44	80,75
	VOLUMEN (cm ³)	1625	1628	1625	1625	1633	1628	1617	1631
PESO (Kg)	3,96	3,94	3,90	3,98	3,94	3,99	4,00	4,00	3,99
PESO UNITARIO (g/cm ³)	2,43	2,44	2,40	2,45	2,41	2,45	2,46	2,47	2,45
CARGA DE RUPTURA (Ton)	15,07	16,74	15,90	19,45	19,78	19,21	24,89	24,78	24,67
RESISTENCIA	(Kg/cm ²)	187,3	207,7	197,7	241,8	245,9	238,3	308,8	305,5
	(Mpa)	18,4	20,4	19,4	23,7	24,1	23,4	30,3	30,0
PROMEDIO (Kg/cm ²)	197,5			242,0			307,5		
ESPECIFICACIÓN	(Kg/cm ²)	280	280	280	280	280	280	280	280
	(Mpa)	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
RESISTENCIA (%)	66,9%	74,2%	70,6%	86,4%	87,8%	85,1%	110,3%	110,0%	109,1%
PROMEDIO (%)	70,6%			86,4%			109,8%		

OBSERVACIONES : Muestreo y ensayos realizados en laboratorio

NOTA: Se adjunta sello de calibración de prensa



* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRESA DE ROTURAS

Realizado por:

Jorge Luis Sanchez G., Ing.
HORMILITORAL C.A. LTDA

email: jorgehualsanchez12@gmail.com

Anexo 4.

Ensayo de rotura a la compresión del hormigón con 5kg de fibra sintética

RESULTADOS DE ENSAYOS EN PROBETAS DE HORMIGÓN DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN

SOLICITANTE : PEDRO MARIDUEÑA
FECHA : 5/MARZO/ 2024

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN : Fc 280 Kg/cm²
EDAD : 28 DIAS
TIPO : CILINDRO



NORMA : ASTM C39M - INEN 1573

ENSAYO No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEMENTO	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA
FECHA DE FABRICACIÓN	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25
FECHA DE ENSAYO	12/2/25	12/2/25	12/2/25	19/2/25	19/2/25	19/2/25	5/3/25	5/3/25	5/3/25
EDAD (días)	7	7	7	14	14	14	28	28	28
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	202,0	202,0	202,0	202,0	203,0	202,0	202,0	201,0
	DIAMETRO (mm)	101,2	101,2	101,2	101,2	101,2	101,3	101,3	101,2
	AREA (cm ²)	80,44	80,60	80,44	80,44	80,44	80,60	80,60	80,44
	VOLUMEN (cm ³)	1625	1628	1625	1625	1633	1628	1628	1617
PESO (Kg)		3,95	3,93	3,94	4,00	4,01	4,02	4,05	4,02
PESO UNITARIO (g/cm ³)		2,43	2,44	2,42	2,46	2,46	2,47	2,49	2,47
CARGA DE RUPTURA (Ton)		17,26	17,38	17,14	19,65	20,15	20,35	24,78	24,85
RESISTENCIA	(Kg/cm ²)	214,6	215,6	213,1	244,3	250,5	252,5	307,4	308,9
	(Mpa)	21,0	21,2	20,9	24,0	24,6	24,8	30,2	30,3
PROMEDIO (Kg/cm ²)		214,4			249,1			308,7	
ESPECIFICACIÓN	(Kg/cm ²)	280	280	280	280	280	280	280	280
	(MPa)	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
RESISTENCIA (%)		76,6%	77,0%	76,1%	87,2%	89,5%	90,2%	109,8%	110,3%
PROMEDIO (%)		76,6%			89,0%			110,2%	

OBSERVACIONES : Muestreo y ensayos realizados en laboratorio

NOTA: Se adjunta sello de calibración de prensa



* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRENSA DE ROTURAS

Realizado por:

Jorge Luis Sanchez G.

Jorge Luis Sanchez G., Ing.
HORMILITORAL C.A. LTDA

email: jorgehuisanchez12@gmail.com

Anexo 5.

Ensayo de rotura a la compresión del hormigón con 2,5kg de fibra reciclada

RESULTADOS DE ENSAYOS EN PROBETAS DE HORMIGÓN DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN

SOLICITANTE : PEDRO MARIDUEÑA
FECHA : 5/MARZO/ 2024

RESISTENCIA A LA COMPRESION : Fc 280 Kg/cm²
EDAD : 28 DIAS
TIPO : CILINDRO



NORMA : ASTM C39M - INEN 1573

ENSAYO No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEMENTO	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA
FECHA DE FABRICACIÓN	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25
FECHA DE ENSAYO	12/2/25	12/2/25	12/2/25	19/2/25	19/2/25	19/2/25	5/3/25	5/3/25	5/3/25
EDAD (días)	7	7	7	14	14	14	28	28	28
DIMENSIONES	ALTURA (mm)	202,0	202,0	202,0	202,0	203,0	202,0	201,0	202,0
	DIAMETRO (mm)	101,3	101,2	101,3	101,2	101,2	101,3	101,3	101,4
	AREA (cm ²)	80,60	80,44	80,60	80,44	80,44	80,60	80,44	80,75
	VOLUMEN (cm ³)	1628	1625	1628	1625	1633	1628	1617	1631
PESO (Kg)	3,95	3,97	4,00	3,93	3,95	3,94	3,95	3,98	3,97
PESO UNITARIO (g/cm ³)	2,43	2,44	2,46	2,42	2,42	2,42	2,43	2,46	2,43
CARGA DE RUPTURA (Ton)	13,79	14,24	14,01	19,52	19,89	18,70	23,98	24,19	24,08
RESISTENCIA	(Kg/cm ²)	171,0	177,0	173,8	242,7	247,2	232,0	297,5	300,7
	(Mpa)	16,8	17,4	17,1	23,8	24,2	22,8	29,2	29,5
PROMEDIO (Kg/cm ²)	174,0			240,6			298,8		
ESPECIFICACIÓN	(Kg/cm ²)	280	280	280	280	280	280	280	280
	(MPa)	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
RESISTENCIA (%)	61,1%	63,2%	62,1%	86,7%	88,3%	82,9%	106,3%	107,4%	106,5%
PROMEDIO (%)	62,1%			86,0%			106,7%		

OBSERVACIONES : Muestreo y ensayos realizados en laboratorio

NOTA: Se adjunta sello de calibración de prensa



* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRESA DE ROTURAS

Realizado por:

[Signature]

Jorge Luis Sanchez G., Ing.
HORMILITORAL CIA. LTDA

email: jorgeluisanchez12@gmail.com

Ensayo de rotura a la compresión del hormigón con 5kg de fibra reciclada

HORMEL FOODS, LTD.

* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRENSA DE ROTURAS

Anexo 7.

Ensayo de rotura a la flexión del hormigón con 2,5kg de fibra sintética

RESULTADOS DE ENSAYOS EN PROBETAS DE HORMIGÓN DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN

SOLICITANTE : PEDRO MARIDUEÑA
FECHA : 5/MARZO/ 2024
TIPO : VIGA

RESISTENCIA A LA COMPRESION : Fc 280 Kg/cm²
RESISTENCIA A LA FLEXION : Fr 3,25 Mpa
EDAD : 28 DIAS



NORMA : ASTM C39M - INEN 1573

ENSAYO No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEMENTO	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA
FECHA DE FABRICACIÓN	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25
FECHA DE ENSAYO	12/2/25	12/2/25	12/2/25	19/2/25	19/2/25	19/2/25	5/3/25	5/3/25	5/3/25
EDAD (días)	7	7	7	14	14	14	28	28	28
DIMENSIONES	ANCHO (cm)	15,4	15,5	15,4	15,4	15,5	15,5	15,4	15,4
	ALTURA (cm)	15,4	15,4	15,5	15,4	15,5	15,4	15,4	15,4
	LUZ (cm)	45,74	45,76	45,75	45,76	45,76	45,75	45,74	45,74
	AREA (cm ²)	237,62	238,39	238,55	238,08	238,70	238,55	238,24	237,78
	VOLUMEN(cm ³)	10869	10909	10914	10895	10923	10914	10897	10883
PESO (Kg)		30,44	30,46	30,42	31,45	31,25	31,3	32,4	32,29
PESO UNITARIO (g/cm ³)		2,8	2,79	2,79	2,89	2,86	2,87	2,97	2,97
CARGA DE RUPTURA (Ton)		3,223	3,245	3,225	3,980	3,890	4,150	4,150	4,220
RESISTENCIA (Mpa)		3,94	3,96	3,93	4,86	4,73	5,06	5,06	5,16
ESPECIFICACIÓN (MPa)		3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
RESISTENCIA (%)		121,20%	121,80%	120,90%	149,50%	145,50%	155,70%	155,70%	160,00%
PROMEDIO (%)		121,3%			150,2%			158,2%	

OBSERVACIONES : Muestreo y ensayos realizados en laboratorio

NOTA: Se adjunta sello de calibración de prensa



* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRENSA DE ROTURAS

Realizado por:

Jorge Luis Sanchez G., Ing.
HORMILITORAL CIA. LTDA

email: jorgeluisanchez12@gmail.com

Ensayo de rotura a la flexión del hormigón con 5kg de fibra sintética

NORMITROL, C.A. LTD.

NORMA : ASTM C39M - INEN 1573

ENSAYO No		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEMENTO		PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA
FECHA DE FABRICACIÓN		5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25
FECHA DE ENSAYO		12/2/25	12/2/25	12/2/25	19/2/25	19/2/25	19/2/25	5/3/25	5/3/25	5/3/25
EDAD (días)		7	7	7	14	14	14	28	28	28
DIMENSIONES	ANCHO (cm)	15,4	15,5	15,4	15,4	15,5	15,5	15,4	15,4	15,4
	ALTURA (cm)	15,4	15,4	15,5	15,4	15,5	15,4	15,4	15,4	15,4
	LUZ (cm)	45,74	45,76	45,75	45,76	45,76	45,75	45,74	45,74	45,74
	AREA (cm²)	237,62	238,39	238,55	238,08	238,70	238,55	238,24	237,78	237,93
	VOLUMEN(cm³)	10869	10909	10914	10895	10923	10914	10897	10876	10883
PESO (Kg)		29,93	30,01	30,24	31,55	31,28	31,32	32,25	32,33	32,41
PESO UNITARIO (g/cm³)		2,75	2,75	2,77	2,9	2,86	2,87	2,96	2,97	2,98
CARGA DE RUPTURA (Ton)		3,193	3,245	3,219	4,010	3,987	4,100	4,180	4,270	4,270
RESISTENCIA	(Mpa)	3,91	3,96	3,92	4,9	4,85	5	5,1	5,22	5,22
ESPECIFICACIÓN	(MPa)	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
RESISTENCIA (%)		120,30%	121,80%	120,60%	150,80%	149,20%	153,80%	156,90%	160,60%	160,60%
PROMEDIO (%)		120,9%			151,3%			159,4%		

OBSERVACIONES : Muestreo y ensayos realizados en laboratorio

NOTA: Se adjunta sello de calibracion de prensa



* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRENSA DE ROTURAS

Realizado por:

Sasha Spence

Jorge Luis Sanchez G. , Ing.
HORMILITORAL CIA. LTDA.

email: jorgeluisanchez12@gmail.com

Anexo 9.

Ensayo de rotura a la flexión del hormigón con 2,5kg de fibra reciclada

RESULTADOS DE ENSAYOS EN PROBETAS DE HORMIGÓN DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN

SOLICITANTE : PEDRO MARIDUEÑA
FECHA : 5/MARZO/ 2024
TIPO : VIGA

RESISTENCIA A LA COMPRESION : Fc 280 Kg/cm2
RESISTENCIA A LA FLEXION : Fr 3,25 Mpa
EDAD : 28 DIAS



NORMA : ASTM C39M - INEN 1573

ENSAYO No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEMENTO	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA
FECHA DE FABRICACIÓN	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25
FECHA DE ENSAYO	12/2/25	12/2/25	12/2/25	19/2/25	19/2/25	19/2/25	5/3/25	5/3/25	5/3/25
EDAD (días)	7	7	7	14	14	14	28	28	28
DIMENSIONES	ANCHO (cm)	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
	ALTURA (cm)	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
	LUZ (cm)	45,74	45,74	45,75	45,74	45,75	45,76	45,75	45,75
	AREA (cm²)	238,24	237,93	237,62	237,93	237,62	238,08	237,62	237,93
	VOLUMEN (cm³)	10897	10883	10871	10883	10869	10871	10895	10885
PESO (Kg)		30,65	30,64	30,67	31,16	31,15	31,18	32,15	32,16
PESO UNITARIO (g/cm³)		2,81	2,82	2,82	2,86	2,87	2,87	2,95	2,95
CARGA DE RUPTURA (Ton)		2,891	2,892	2,892	3,259	3,260	3,257	3,973	3,965
RESISTENCIA (Mpa)		3,53	3,53	3,54	3,98	3,99	3,99	4,86	4,85
ESPECIFICACIÓN (MPa)		3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
RESISTENCIA (%)		108,60%	108,60%	108,90%	122,50%	122,80%	122,80%	149,50%	149,20%
PROMEDIO (%)		108,7%			122,7%			149,1%	

OBSERVACIONES : Muestreo y ensayos realizados en laboratorio

NOTA: Se adjunta sello de calibración de prensa



* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRENSA DE ROTURAS

Realizado por:

Jorge Luis Sanchez G. , Ing.
HORMILITORAL CIA. LTDA

email: jorgeluisanchez12@gmail.com

Anexo 10.

Ensayo de rotura a la flexión del hormigón con 5kg de fibra reciclada

RESULTADOS DE ENSAYOS EN PRÓBETAS DE HORMIGÓN DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN

SOLICITANTE : PEDRO MARIDUEÑA
FECHA : 5/MARZO/ 2024
TIPO : VIGA

RESISTENCIA A LA COMPRESION : Fc 280 Kg/cm2
RESISTENCIA A LA FLEXION : Fr 3,25 Mpa
EDAD : 28 DIAS



NORMA : ASTM C39M - INEN 1573

ENSAYO No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ELEMENTO	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA	PRUEBA
FECHA DE FABRICACIÓN	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25	5/2/25
FECHA DE ENSAYO	12/2/25	12/2/25	12/2/25	19/2/25	19/2/25	19/2/25	5/3/25	5/3/25	5/3/25
EDAD (días)	7	7	7	14	14	14	28	28	28
DIMENSIONES	ANCHO (cm)	15,4	15,4	15,4	15,4	15,5	15,5	15,4	15,4
	ALTURA (cm)	15,4	15,4	15,4	15,4	15,5	15,5	15,4	15,4
	LUZ (cm)	45,75	45,74	45,75	45,75	45,74	45,75	45,76	45,74
	AREA (cm²)	237,93	237,93	237,62	238,39	238,70	238,86	238,08	237,93
	VOLUMEN(cm³)	10885	10883	10871	10907	10918	10928	10895	10883
PESO (Kg)	30,77	30,64	30,67	31,45	31,44	31,25	32,22	32,45	32,61
PESO UNITARIO (g/cm³)	2,83	2,82	2,82	2,88	2,88	2,86	2,96	2,98	3
CARGA DE RUPTURA (Ton)	2,991	2,992	2,994	3,550	3,350	3,250	3,990	4,010	3,990
RESISTENCIA (Mpa)	3,66	3,65	3,67	4,33	4,07	3,95	4,88	4,91	4,88
ESPECIFICACIÓN (MPa)	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
RESISTENCIA (%)	112,60%	112,30%	112,90%	133,20%	125,20%	121,50%	150,20%	151,10%	150,20%
PROMEDIO (%)	112,6%			126,6%			150,5%		

OBSERVACIONES : Muestreo y ensayos realizados en laboratorio

NOTA: Se adjunta sello de calibración de prensa



* SELLO DE CALIBRACIÓN DE PRENSA DE ROTURAS

Realizado por:

Jorge Luis Sanchez G. , Ing.
HORMILITORAL CIA. LTDA

email: jorgeluisanchez12@gmail.com