



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Análisis comparativo de propiedades y costos, entre vigas de hormigón  
convencional y vigas reforzadas con fibras de carrizo.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERA CIVIL**

Autores:

**SILVIA ALEXANDRA ALBARRACÍN CALDERÓN**

**DAYANNA BRIGETTE ARIAS QUEZADA**

Director:

**ING. VLADIMIR EUGENIO CARRASCO CASTRO. M.SC.**

**CUENCA-ECUADOR**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos, por el apoyo brindado toda mi vida. Papi, gracias por enseñarme sobre perseverancia, responsabilidad y la importancia de nunca rendirme, todo lo que he logrado no sería posible sin sus enseñanzas, amor y confianza. Gracias por enseñarme a siempre tener coraje.

A mi chatis, mi hermana y mejor amiga: por tus consejos y compañía que me ayudaron a seguir con fuerzas, tu ejemplo me inspira a ser mejor. Gracias por nunca dejarme sola, eres mi mayor soporte en la vida.

A mi abuelita Digna, por enseñarme el significado de esforzarse para cumplir tus sueños. Gracias por brindarnos su amor incondicional que se quedará conmigo todos los días.

A mi chiquita y campeón, estarán siempre en mi corazón.

**Silvia Alexandra Albarracín Calderón**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fuerza y el valor necesario para enfrentar  
cada etapa de mi vida.

A mis queridos padres, Manolo y Martha, por estar presente en cada momento. Su amor,  
confianza, ayuda y un apoyo incondicional me han permitido cumplir mis metas y  
convertirme en una buena persona.

A toda mi familia, gracias por su constante presencia y apoyo en cada paso que he dado en mi  
vida.

A mis amigos, tanto aquellos que han estado a mi lado durante años y a los que he conocido  
en la universidad, les agradezco por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

Con todo mi cariño y amor, les doy las gracias por ser parte de este logro. Sin cada uno de  
ustedes, mi historia no habría sido la misma.

**Dayanna Brigitte Arias Quezada**

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos el más sincero agradecimiento a nuestro director de tesis, Ingeniero Vladimir Carrasco Castro, quien nos brindó su tiempo, conocimiento y confianza desde un principio. Gracias por guiarnos para que este proyecto de titulación se desarrolle de la mejor manera.

A todos los docentes de la Universidad del Azuay, gracias por sus enseñanzas impartidas en clase. Agradecemos a todos los amigos que formaron parte de nuestra vida universitaria, quienes nos brindaron una linda amistad, apoyo y confianza.

## **Análisis comparativo de propiedades y costos, entre vigas de hormigón convencional y vigas reforzadas con fibras de carrizo.**

### **RESUMEN**

El presente proyecto de investigación se centra en la comparación de vigas de hormigón con armadura de carrizo y hormigón simple. El comportamiento que presenta el hormigón convencional respecto al hormigón reforzado con fibras de carrizo puede variar respecto a sus resultados de resistencia, desplazamiento y formación de fisuras. También existe una variación en sus costos. El carrizo es un material sostenible, que se encuentra en abundancia en la provincia del Azuay, pero los estudios existentes sobre este material como refuerzo del hormigón son escasos. Para realizar esta investigación se realizaron 3 tipos de muestras: vigas de concreto convencional, vigas de concreto reforzado con fibras cortas de carrizo y vigas de concreto convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo. Para cada tipo de viga se fabricaron 4 muestras que fueron sometidas a ensayos de flexión a los 7 y 14 días de curado. El resultado más óptimo alcanzado se asoció a la adición de fibras trenzadas a las vigas, siendo así que su resistencia a la flexión a los 14 días aumentó, con un módulo de rotura promedio igual a 4,93; en relación al desplazamiento las vigas alcanzaron los 25 milímetros y la formación de fisuras en cada viga fue casi imperceptible, todas estas propiedades respecto a las vigas de control.

**Palabras clave:** Hormigón, vigas, carrizo, refuerzo, flexión, costos.

## **Análisis comparativo de propiedades y costos, entre vigas de hormigón convencional y vigas reforzadas con fibras de carrizo.**

### **ABSTRACT**

The present research project focuses on the comparison between concrete beams with reed reinforcement and plain concrete. The behavior of conventional concrete compared to reed fiber-reinforced concrete can vary in terms of strength, displacement and crack formation. There is also a variation in cost. Reed is a sustainable material, abundantly found in the province of Azuay, and existing studies on this material as concrete reinforcement are scarce. For this investigation, three types of samples were made: conventional concrete beams, concrete beams reinforced with short reed fibers, and conventional concrete beams reinforced with braided reed fibers. Four samples of each type of beam were fabricated and subjected to bending tests at 7 and 14 days of curing. The most optimal result achieved was associated with the addition of braided fibers to the beams, so that their flexural strength increased after 14 days, with an average modulus of rupture equal to 4,93; In relation to displacement, the beams reached 25 millimeters and the formation of cracks in each beam was almost imperceptible, all these properties with respect to the control beams.

**Key words:** Concrete, beams, reed, reinforcement, bending, costs.

## Índice de contenidos

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
INTRODUCCIÓN .....	1
1. CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del Problema .....	3
1.2. Justificación .....	4
1.3. Materiales sostenibles.....	5
1.4. Necesidad de reforzar con fibras el hormigón.....	7
1.5. Fibras como tecnología sostenible.....	9
1.6. Objetivo General.....	11
1.7. Objetivos específicos.....	12
1.8. Pregunta de investigación.....	12
1.9. Alcance .....	12
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	14
2.1. Antecedentes.....	14
2.2. Marco Conceptual.....	16
2.2.1. Hormigón .....	16
2.2.2. Componentes del hormigón .....	17
2.2.3. Propiedades del Hormigón .....	21
2.2.4. Fibras Vegetales .....	22
2.2.5. Tratamientos químicos para Fibras .....	23
2.2.6. Carrizo.....	26
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	28
3.1. Enfoque.....	28
3.2. Diseño Investigación .....	28
3.3. Muestra de estudio.....	28
3.4. Hipótesis .....	29
3.5. Procedimiento de la Investigación.....	29
3.6. Materiales .....	30
3.6.1 Agregados.....	30
3.6.2 Cemento. ....	31
3.6.3 Agua. ....	33
3.6.4 Aditivo.....	33

3.6.5	Carrizo.....	34
3.7.	Análisis granulométrico.....	39
3.7.1.	Análisis granulométrico del árido grueso.....	41
3.7.2.	Análisis granulométrico del árido fino.....	43
3.8.	Elaboración de muestras.....	45
3.8.1.	Elaboración de cilindros.....	48
3.8.2.	Elaboración de vigas. ....	55
3.9.	Ensayos.....	64
3.9.1.	Ensayos del hormigón fresco .....	64
3.9.2.	Ensayos del hormigón endurecido .....	68
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	88
4.1.	Dosificación.....	88
4.2.	Comparación del Slump .....	92
4.3.	Resultados: Ensayo de resistencia a la compresión.....	93
4.4.	Resultados: Ensayos de resistencia a la flexión.....	96
4.5.	Costos .....	105
5.	CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS. ....	108
5.1.	Análisis de los materiales empleados. ....	108
5.2.	Análisis del asentamiento del hormigón en cada mezcla. ....	108
5.3.	Análisis: Ensayo de resistencia a la compresión. ....	109
5.4.	Análisis: Ensayo de resistencia a la flexión.....	109
5.5.	Análisis: Comparación de costos entre los diferentes tipos de vigas. ....	114
	CONCLUSIONES .....	115
	RECOMENDACIONES.....	116
	Referencias.....	117
	ANEXOS .....	123
	Anexo 1. Informe de los laboratorios de la UPS de los resultados de las vigas ensayadas a los 7 días, con la primera dosificación. ....	123
	Anexo 2. Informe de los laboratorios de la UPS de los resultados de las vigas ensayadas a los 7 días, con la segunda dosificación.....	124
	Anexo 3. Informe de los laboratorios de la UPS de los resultados de las vigas ensayadas a los 14 días, con la segunda dosificación.....	125



## Índice de figuras

Figura 1.1: Hormigón mezclado con fibras .....	8
Figura 1.2: Fibras de acero comercial utilizadas en hormigones.....	9
Figura 1.3: Dimensiones de las fibras.....	10
Figura 2.1: Tipos de fibras naturales.....	23
Figura 2.2: Phragmites Australis (PA).....	27
Figura 3.1: Agregado grueso utilizado en el proyecto.....	31
Figura 3.2: Agregado fino utilizado en el proyecto.....	31
Figura 3.3: Comparación en la resistencia a compresión del cemento HE y los valores especificados en la INEN 2380.....	32
Figura 3.4: Aditivo MasterGlenium 7971.....	34
Figura 3.5: Carrizo seleccionado.....	34
Figura 3.6: Proceso de desfibrado manual.....	35
Figura 3.7: Diseño del trenzado con fibras de carrizo.....	35
Figura 3.8: Fibras cortas.....	36
Figura 3.9: Fibras empleadas para la técnica de refuerzo con trenzados.....	36
Figura 3.10: Fibras de carrizo tratadas con Hidróxido de sodio.....	37
Figura 3.11: Proceso de lavado de las fibras.....	37
Figura 3.12: Comparación de superficies de las fibras de carrizo.....	38
Figura 3.13: Secado de las fibras.....	38
Figura 3.14: Proceso de secado de los áridos.....	39
Figura 3.15: Adición de la muestra en los tamices.....	39
Figura 3.16: Tamizado de los áridos.....	40
Figura 3.17: Distribución de los áridos retenidos en cada tamiz.....	40
Figura 3.18: Curva granulométrica del árido grueso.....	42

Figura 3.19: Curva granulométrica del árido fino. ....	44
Figura 3.20: Moldes cilíndricos metálicos para hormigón. ....	49
Figura 3.21: Concretera automática. ....	49
Figura 3.22: Proceso de dosificación de los materiales. ....	50
Figura 3.23: Proceso de adición de los materiales. ....	50
Figura 3.24: Transferencia de la mezcla para facilitar el vertido. ....	51
Figura 3.25: Proceso de vertido y compactación del hormigón. ....	52
Figura 3.26: Cilindros marcados con su fecha de fundición y número dentro del grupo. ....	52
Figura 3.27: Colocación de cilindros en el tanque de curado. ....	53
Figura 3.28: Fibras que se añadirán a la mezcla. ....	53
Figura 3.29: Incorporación de las fibras de carrizo a la mezcla. ....	54
Figura 3.30: Hormigón con fibras cortas de carrizo. ....	54
Figura 3.31: Proceso de vertido, apisonado y enrasado de la mezcla. ....	55
Figura 3.32: Cilindros con hormigón reforzado, marcados con su fecha de fundición y número dentro del grupo. ....	55
Figura 3.33: Colocación del encofrado. ....	56
Figura 3.34: Distribución de encofrados. ....	57
Figura 3.35: Elaboración de vigas con hormigón convencional. ....	57
Figura 3.36: Distribución de la mezcla para evitar vacíos. ....	58
Figura 3.37: Vigas con hormigón convencional, marcados con su fecha de fundición y número dentro del grupo. ....	58
Figura 3.38: Vigas colocadas en el tanque de curado. ....	58
Figura 3.39: Recubrimiento de las vigas reforzadas con fibras de carrizo trenzadas. ....	59
Figura 3.40: Colocación de las fibras trenzadas, cumpliendo con el recubrimiento. ....	59
Figura 3.41: Vertido de hormigón sobre las fibras. ....	60

Figura 3.42: Enrasado de las muestras.....	60
Figura 3.43: Vigas con hormigón convencional, reforzada con fibras trenzadas de carrizo marcadas con su fecha de fundición y número dentro del grupo.....	61
Figura 3.44: Vigas con hormigón convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo, colocadas en el tanque de curado.....	61
Figura 3.45: Carrizo incorporado en la hormigonera.....	62
Figura 3.46: Vertido de la mezcla por capas.....	62
Figura 3.47: Proceso de vibrado y enrasado del hormigón reforzado con fibras cortas.....	62
Figura 3.48: Vigas con hormigón convencional, reforzada con fibras cortas de carrizo marcadas con su fecha de fundición y número dentro del grupo.....	63
Figura 3.49: Desencofrado de vigas.....	64
Figura 3.50: Asentamiento del Cono de Abrams.....	65
Figura 3.51: Ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrams.....	66
Figura 3.52: Asentamiento del hormigón convencional.....	67
Figura 3.53: Ensayo de asentamiento del hormigón reforzado con fibras cortas, utilizando el cono de Abram.....	67
Figura 3.54: Asentamiento del hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.....	68
Figura 3.55: Esquema de los modelos típicos de fractura.....	70
Figura 3.56: Cilindros para ensayos a compresión.....	71
Figura 3.57: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón convencional #1. .....	76
Figura 3.58: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón convencional #2. .....	76
Figura 3.59: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón convencional #3. .....	77

Figura 3.60: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón convencional #4. .....	77
Figura 3.61: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón reforzado con fibras cortas #1.....	78
Figura 3.62: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón reforzado con fibras cortas #2.....	78
Figura 3.63: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón reforzado con fibras cortas #3.....	79
Figura 3.64: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón reforzado con fibras cortas #4.....	79
Figura 3.65: Dimensiones para una viga de ensayo definidas por la NTE INEN 2554. ....	80
Figura 3.66: Diagrama de un aparato adecuado para realizar ensayos a la flexión de vigas de hormigón mediante el método de carga en los tercios. ....	80
Figura 3.67: Vigas para realizar ensayos a flexión.....	83
Figura 3.68: Calibración de la máquina de ensayos. ....	83
Figura 3.69: Viga de hormigón convencional sometida a flexión luego de 7 días.....	84
Figura 3.70: Viga de hormigón convencional sometida a flexión luego de 14 días.....	85
Figura 3.71: Viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo sometidas a flexión luego de 7 días. ....	85
Figura 3.72: Viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo sometidas a flexión luego de 14 días. ....	86
Figura 3.73: Viga de hormigón reforzada con fibras trenzadas de carrizo sometidas a flexión luego de 7 días. ....	86
Figura 3.74: Viga de hormigón reforzada con fibras trenzadas de carrizo sometidas a flexión luego de 14 días. ....	87

Figura 4.1: Comparación de hormigón convencional y hormigón reforzado, a los 7 días. ....	95
Figura 4.2: Comparación de hormigón convencional y hormigón reforzado, a los 14 días. ...	95
Figura 4.3: Curvas Fuerza-Desplazamiento de las vigas ensayadas a los 7 días, con la primera dosificación.....	103
Figura 4.4: Curvas Fuerza-Desplazamiento de las vigas ensayadas a los 7 días, con la segunda dosificación.....	104
Figura 4.5: Curvas Fuerza-Desplazamiento de las vigas ensayadas a los 14 días, con la segunda dosificación.....	105
Figura 5.1: Falla explosiva en los cilindros de hormigón convencional.....	109
Figura 5.2: Tipos de fallas en las vigas de hormigón convencional. ....	111
Figura 5.3: Tipos de fallas en las vigas de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo. ....	111
Figura 5.4: Tipos de fallas en las vigas de hormigón convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo.....	112
Figura 5.5: Comportamiento de las vigas trenzadas de carrizo ante la flexión, luego de 7 días. ....	113
Figura 5.6: Comportamiento de las vigas convencionales ante la flexión, luego de 7 días...	113

## Índice de tablas

Tabla 3.1: <i>Porcentaje de árido grueso retenido y porcentaje que pasa.</i> .....	41
Tabla 3.2: <i>Tabla de pesos del árido grueso y su absorción.</i> .....	43
Tabla 3.3: <i>Porcentaje de árido fino retenido y porcentaje que pasa.</i> .....	43
Tabla 3.4: <i>Tabla de pesos del árido fino y su absorción.</i> .....	45
Tabla 3.5: <i>Número de muestras realizadas.</i> .....	46
Tabla 3.6: <i>Materiales empleados en la elaboración de mezclas.</i> .....	47
Tabla 3.7: <i>Materiales utilizados para determinar la consistencia del hormigón.</i> .....	65
Tabla 3.8: <i>Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes.</i> .....	69
Tabla 3.9: <i>Número de muestras para el ensayo.</i> .....	70
Tabla 3.10: <i>Medidas y peso de las muestras cilíndricas tomadas en el laboratorio a los 7 días.</i> .....	72
Tabla 3.11: <i>Medidas y peso de las muestras cilíndricas tomadas en el laboratorio a los 14 días.</i> .....	73
Tabla 3.12: <i>Áreas calculadas de las muestras cilíndricas a los 7 días.</i> .....	74
Tabla 3.13: <i>Áreas calculadas de las muestras cilíndricas a los 14 días.</i> .....	75
Tabla 3.14: <i>Cálculo de la velocidad de carga para el ensayo.</i> .....	82
Tabla 4.1: <i>Primera dosificación de hormigón convencional para muestras cilíndricas.</i> .....	88
Tabla 4.2: <i>Primera dosificación de hormigón convencional para vigas.</i> .....	89
Tabla 4.3: <i>Segunda dosificación de hormigón convencional para muestras cilíndricas.</i> .....	89
Tabla 4.4: <i>Segunda dosificación de hormigón convencional para vigas.</i> .....	90
Tabla 4.5: <i>Primera dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo para muestras cilíndricas.</i> .....	90
Tabla 4.6: <i>Primera dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo para vigas.</i> .....	91

Tabla 4.7: Segunda dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo para muestras cilíndricas.....	91
Tabla 4.8: Segunda dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo para vigas. ....	92
Tabla 4.9: Medición del asentamiento. ....	92
Tabla 4.10: Descripción y toma de datos de las muestras cilíndricas.....	93
Tabla 4.11: Descripción y toma de datos de las muestras cilíndricas con hormigón reforzado. ....	93
Tabla 4.12: Resultado del Esfuerzo a compresión en unidades Kg/cm <sup>2</sup> , a los 7 días. ....	94
Tabla 4.13: Resultado del Esfuerzo a compresión en unidades Kg/cm <sup>2</sup> , a los 14 días. ....	94
Tabla 4.14: Descripción y toma de datos de las vigas elaboradas con la primera dosificación. ....	96
Tabla 4.15: Descripción y toma de datos de las vigas elaboradas con la segunda dosificación. ....	96
Tabla 4.16: Descripción y toma de datos de las vigas con refuerzo, elaboradas con la primera dosificación. ....	96
Tabla 4.17: Descripción y toma de datos de las vigas con refuerzo, elaboradas con la segunda dosificación.....	97
Tabla 4.18: Descripción y toma de datos de las vigas con refuerzo de fibras trenzadas, elaboradas con la primera dosificación. ....	97
Tabla 4.19: Descripción y toma de datos de las vigas con refuerzo de fibras trenzadas, elaboradas con la segunda dosificación.....	98
Tabla 4.20: Resultados del ensayo a flexión en vigas luego de 7 días: Primera dosificación.	98
Tabla 4.21: Resultados del ensayo a flexión en vigas luego de 7 días: Segunda dosificación. ....	99

Tabla 4.22: <i>Resultados del ensayo a flexión en vigas luego de 14 días: Segunda dosificación.</i> .....	100
Tabla 4.23: <i>Deformación de las vigas a los 7 días: Primera dosificación.</i> .....	101
Tabla 4.24: <i>Deformación de las vigas a los 7 días: Segunda dosificación.</i> .....	101
Tabla 4.25: <i>Deformación de las vigas a los 14 días: Segunda dosificación.</i> .....	102
Tabla 4.26: <i>Análisis de precios unitarios para una viga de hormigón convencional.</i> .....	106
Tabla 4.27: <i>Análisis de precios unitarios para una viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.</i> .....	106
Tabla 4.28: <i>Análisis de precios unitarios para una viga de hormigón convencional reforzada con fibras trenzadas de carrizo.</i> .....	107



# **Análisis comparativo de propiedades y costos, entre vigas de hormigón convencional y vigas reforzadas con fibras de carrizo.**

## **INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto se centra en un análisis comparativo que abarque diversas dimensiones, desde la resistencia hasta la viabilidad económica de las vigas de hormigón convencional frente a las vigas reforzadas con fibras de carrizo.

Las vigas de hormigón convencional han sido un componente esencial en la construcción de estructuras por su fuerza y versatilidad comprobadas a lo largo del tiempo (HOLCIM, 2024). Sin embargo, en la actualidad, la necesidad de abordar desafíos ambientales y económicos ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles y eficientes, que no solo cumplan con los estándares tradicionales de ingeniería, sino que también reduzcan la huella de carbono y aprovechen recursos renovables (Martin Sendra , 2020).

En este contexto, las fibras de carrizo han emergido como una opción prometedora para reforzar estructuras de hormigón. El carrizo, perteneciente a la especie vegetal *Phragmites Australis*, es una planta invasora que crece rápida y abundantemente a lo largo de ríos y vías fluviales, esto puede causar problemas ecológicos importantes (Machaka *et al.*, 2022), las fibras ofrecen propiedades mecánicas notables que pueden mejorar la capacidad de carga y la resistencia a la flexión de las vigas, al tiempo que presenta beneficios ambientales al ser un recurso renovable (Pérez Gómez Martínez *et al.*, 2021).

Este proyecto busca explorar en profundidad cómo las fibras de carrizo pueden influir en las propiedades y costos de las vigas, presentándose como una opción atractiva.

A través de la disertación detallada de los resultados obtenidos, se mostrarán las posibles aplicaciones y limitaciones de la integración de fibras de carrizo en vigas de hormigón, proporcionando una evaluación integral que sirva como fundamento para la toma de decisiones

informadas en el campo de la ingeniería civil, arquitectura y construcción. Esta contribución se orienta hacia el progreso de prácticas constructivas más eficientes y sostenibles

# 1. CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1. Planteamiento del Problema

La construcción como industria, es crítica para el desarrollo económico y social en todo el mundo, y desempeña un papel fundamental en la configuración de nuestro entorno. Sin embargo, esta actividad no está exenta de problemas y desafíos significativos. La construcción es una fuente importante de emisiones de dióxido de carbono y consume una gran cantidad de recursos no renovables (Acevedo Agudelo *et al.*, 2012).

En el contexto actual de preocupación por el cambio climático y la conservación de recursos, la búsqueda de materiales de construcción más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente se ha convertido en una necesidad apremiante (Martin Sendra , 2020).

La problemática que se aborda en este proyecto de titulación se relaciona directamente con esta necesidad imperante. En la actualidad, la industria de la construcción se encuentra bajo una presión creciente para adoptar prácticas más sostenibles y reducir su huella ambiental (Acevedo Agudelo *et al.* , 2012). Por tanto, la adopción de materiales y métodos de construcción sostenibles es una respuesta a las preocupaciones ambientales actuales.

Según lo mencionado anteriormente, entre los materiales investigados en términos de innovación ecológica, se destaca el hormigón, el cual es considerado uno de los más utilizados a nivel mundial en construcciones civiles e infraestructuras por las cualidades destacadas que posee: su capacidad de resistir la acción del agua sin un deterioro significativo, su aptitud para moldear elementos con gran variedad de formas y tamaños, su economía y su disponibilidad en obra. (Zerbino, 2020)

Actualmente, se reconoce que el hormigón convencional puede presentar ciertas limitaciones, no obstante, se pueden mejorar adicionando porcentajes de fibras naturales a la mezcla, las cuales están disponibles en grandes cantidades y representan una fuente renovable

continúa. (Paricaguán Morales & Muñoz Cuevas, 2019). Por ejemplo, se destaca la adición de fibras para mitigar las fisuras en el hormigón por la contracción de secado u otras razones que puedan provocar un cambio de volumen. (Geremew *et al.*, 2021, p. 13).

Sin embargo, al usar este tipo de fibras los constructores no consideran sus propiedades por lo que genera incertidumbre al fabricar el hormigón. (Tovar Bernaola, 2021). Por mucho tiempo, el uso de hormigón reforzado con fibras estuvo limitado por la falta de recomendaciones de cálculo estructural, ya que dependía de experiencias previas, prueba y error o sugerencias de cada productor de fibra. (Zerbino, 2020).

## **1.2. Justificación**

La justificación de este proyecto radica en la necesidad de avanzar hacia una construcción más sostenible y responsable, donde se equilibren las consideraciones económicas, sociales y ambientales. Este proyecto se enmarca en un esfuerzo más amplio por encontrar soluciones viables y eficaces para construir un futuro más sostenible.

La construcción no solo es una fuente de empleo a nivel mundial, sino que también influye en la calidad de vida de las comunidades locales. La adopción de prácticas de construcción más sostenibles puede generar empleo en sectores relacionados, como la producción de materiales sostenibles y la implementación de tecnologías ecológicas (Quiceno Peláez, 2023).

En el ámbito tecnológico, se han producido avances significativos en el desarrollo de materiales y métodos de construcción sostenibles. La inclusión de fibras naturales en el hormigón, como el carrizo, es un ejemplo de un enfoque tecnológico que promete mejorar sus características y propiedades (Machaka *et al.*, 2022; Reyes Antileo *et al.*, 2022). Sin embargo, la adopción de estas tecnologías aún no está generalizada y requiere una evaluación detallada.

Se busca concientizar sobre lo importante que es implementar normativas relacionadas con la sostenibilidad en la construcción. La inclusión de materiales sostenibles en proyectos de construcción a menudo está sujeta a incentivos o requisitos legales. Evaluar la viabilidad de las vigas de hormigón con fibras de carrizo se alinea con estas tendencias políticas y puede facilitar la adopción de prácticas más sostenibles en la industria.

La economía de la construcción está fuertemente influenciada por los costos asociados con los materiales y los métodos de construcción (Rocha-Tamayo, 2013). La incorporación de fibras de carrizo puede afectar los costos de producción y utilización de las vigas de hormigón. La toma de decisiones informadas basadas en datos hormigóns es esencial para garantizar que la adopción de estas nuevas tecnologías sea económica y técnicamente viable.

### **1.3. Materiales sostenibles**

En la actualidad se revela una creciente conciencia global sobre la importancia de adoptar prácticas y materiales respetuosos con el medio ambiente en diversos sectores, incluyendo la construcción, manufactura y diseño. La presión para abordar el cambio climático, reducir la huella de carbono y preservar los recursos naturales, ha impulsado la investigación y desarrollo de materiales que minimizan impactos ambientales negativos. (Arevalo Niño, 1996).

En la construcción, se observa un interés creciente en materiales como el hormigón con bajo contenido de carbono, compuestos de madera y plásticos reciclados. Además, avances en la investigación de materiales geo sintéticos y tecnologías de aislamiento sostenible están transformando las prácticas tradicionales de construcción hacia opciones más ecoeficientes. (Martin Sendra , 2020).

En la fabricación, se ha avanzado en el desarrollo de plásticos biodegradables, materiales compuestos reciclados y tecnologías de reciclaje más eficientes. (Reyes Antileo *et*

al, 2022). La atención se ha centrado en cerrar el ciclo de vida de los productos, desde su creación hasta su disposición final, para minimizar la acumulación de desechos y promover la economía circular.

De esta forma, en el diseño de productos, se ha observado una tendencia hacia la utilización de materiales reciclados, biodegradables y de origen renovable. La demanda del consumidor por productos más sostenibles ha impulsado a las empresas a considerar la ecoeficiencia en la selección de materiales y procesos de fabricación.

Es así que los materiales sostenibles muestran un cambio hacia prácticas más responsables con el medio ambiente en diversas industrias y un panorama dinámico en constante evolución. En la búsqueda de soluciones para abordar desafíos ambientales, varias disciplinas, como la ingeniería, la arquitectura, la química y la ciencia de materiales, se han convergido para desarrollar alternativas más sostenibles en diferentes sectores. (de Rawan *et al.*2023).

En la fabricación, se han logrado avances significativos en el desarrollo de plásticos biodegradables, materiales compuestos reciclados y procesos de producción más eficientes en términos de energía. La integración de tecnologías de reciclaje y la reutilización de residuos industriales están contribuyendo a cerrar el ciclo de vida de los productos y reducir la dependencia de materias primas no renovables. (Rocha-Tamayo, 2013).

Para lograr una producción y un consumo responsables, es fundamental iniciar con la reducción de los desperdicios en todas las etapas del proceso de fabricación, desde la adquisición de la materia prima hasta su ejecución, para explorar la viabilidad de reemplazar parcialmente el cemento en el hormigón con fibras naturales. (Martin Sendra , 2020).

En el diseño de productos, la investigación se centra en la utilización de materiales reciclados, biodegradables y de origen renovable. La economía circular y el diseño para el

reciclaje son principios clave que guían la creación de productos más sostenibles, desde envases hasta dispositivos electrónicos. (Pérez Gómez Martínez *et al.*, 2023).

Por esta razón se refleja una convergencia de conocimientos y tecnologías diversas, respaldada por la urgencia de abordar los desafíos ambientales. La colaboración entre investigadores y empresas es fundamental para impulsar la investigación y aplicación práctica de estos materiales en la creación de un futuro más sostenible.

#### **1.4. Necesidad de reforzar con fibras el hormigón**

Desde hace muchos años, se ha explorado la idea de reforzar manufacturas resistentes, pero potencialmente frágiles, con materiales fibrosos. Por ejemplo, en el antiguo Egipto se añadía paja al macizo arcilloso utilizado para fabricar ladrillos, con el propósito de incrementar su resistencia y, como resultado, mejorar su manejo después de ser expuestos al sol para su endurecimiento. (Millán Castillo, 2013)

El hormigón, como compuesto, presenta cierta debilidad frente a fuerzas de tensión y es deficiente en sus propiedades dinámicas cuando se somete a impactos, y no responde de manera significativa a cambios en la velocidad de carga, lo que subraya la importancia de reforzarlo con materiales adicionales, como las fibras (Olivera Pérez *et al.*, 2022).

Las fibras cortas en la mezcla producen la optimización de las propiedades del hormigón y contribuyen a reforzar el compuesto, así como controlar el agrietado y la contracción durante el secado. Además, reducen la permeabilidad del material y la pérdida de agua que pueda tener (Olivera Pérez *et al.*, 2022).

Las fibras son amalgamadas hasta lograr una distribución uniforme como se observa en la Figura 1.1, estas fibras generan un material más homogéneo con una resistencia a la tracción superior a la del hormigón convencional (Tovar Bernaola, 2021).

*Figura 1.1: Hormigón mezclado con fibras*



*Fuente: (Sika, 2014)*

Las fibras utilizadas pueden ser de naturaleza mineral, orgánica o metálica. La matriz, ya sea hormigón o mortero, aporta resistencia a la compresión y rigidez, protegiendo así las fibras. Estas, a su vez, ofrecen mayor resistencia a los esfuerzos de tracción, controlan la fisuración y confieren al hormigón una mayor tenacidad (Sika, 2014).

La eficacia y efectividad de estas soluciones dependen del tipo de fibras empleadas en el refuerzo del hormigón.

Las fibras naturales, un ejemplo de estas soluciones, han ganado relevancia en los últimos años. Su composición proviene de materias primas como el coco, el plátano y distintos tipos de caña, lo que contribuye a la reducción del costo del hormigón reforzado.

Las fibras naturales también pueden contribuir a mejorar las propiedades de aislamiento térmico y acústico del hormigón. Estos beneficios han consolidado a las fibras naturales como una opción atractiva en la mejora de las características del hormigón en diversos proyectos constructivos. (Machaka *et al*, 2022).

A pesar de sus beneficios, es esencial aislar adecuadamente el material resultante para evitar su deterioro y evitar su uso excesivo. Entre sus cualidades destacadas se encuentra la capacidad de resistir al fuego y mejorar el control de la aparición de fisuras. Este tipo de fibra,



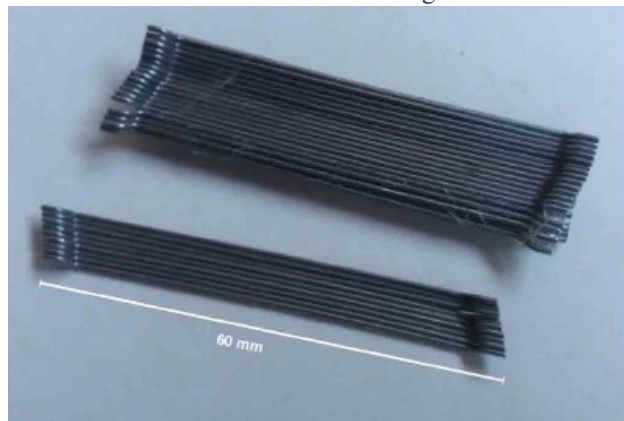
al integrarse en el hormigón, proporciona una solución prometedora para fortalecer y mejorar las propiedades del material en aplicaciones constructivas (Machaka *et al.*, 2022).

### 1.5. Fibras como tecnología sostenible

En la actualidad el avance de la ingeniería y la tecnología son cada vez mayores, esto nos da una razón para reincorporar el cuidado ambiental. (R. Prakash *et al.*, 2020).

Si tomamos en cuenta el uso de fibras, sabemos que se pueden clasificar según (Sika, 2014) por material o su funcionalidad, geometría y la dosificación. Por material se encuentran las fibras metálicas que son de acero como se ve en la Figura 1.2 y tiene muy poco contenido de carbón, las fibras de vidrio y fibras sintéticas que pueden estar compuestas por carbón, nylon, poliéster (Zhou *et al.*, 2018). Por otro lado, las fibras naturales pueden provenir del coco, la madera, caña, bambú.

Figura 1.2: Fibras de acero comercial utilizadas en hormigones.



Fuente: (Nazer, Honores, & Chulak, 2018)

Por su funcionalidad, geometría y dosificación se presenta por microfibras las cuales previenen la fisuración del hormigón antes de las 24 horas o en estado fresco. (Sika, 2014) menciona que el polipropileno es el que se usa más frecuentemente como microfibra.

Las microfibras evitan la fisuración en un estado endurecido, un funcionamiento adecuado de la estructura y en caso de existir una fisura que esta sea pequeña. Las microfibras

más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyo diámetro oscila entre 0.05 - 2.00 mm como se puede ver en la Figura 1.3.

Figura 1.3: Dimensiones de las fibras.



Fuente: (Sika, 2014)

Un método innovador es el uso de subproductos agrícolas, para poder implementarlos su forma cambiaría a cenizas, agregados o fibras (Shon *et al.*, 2019). A pesar de las numerosas investigaciones, las fibras vegetales aún se mantienen fuera de fibrocementos disponibles en el mercado, esto se debe a su poca durabilidad en el compuesto, la razón es que al estar en un medio que se considera alcalino en este caso el cemento, se produce un deterioro y pérdida de refuerzo. (Llerena Encalada , 2014).

Todas estas características se engloban en un término general, denominado tecnología de construcción ecológica, la cual debe incluirse desde la planificación, diseño y demolición de un edificio. (Shon *et al.*, 2019).

Se sabe que el hormigón armado posee una buena resistencia a la compresión (Carrión *et al.*, 2019), pero es deficiente con respecto a sus propiedades dinámicas, sobre todo cuando es sometido al impacto, e insensible respecto a la velocidad de carga (Olivera Pérez *et al.*, 2021). Es así que esta técnica busca potenciar sus propiedades a flexión al mismo tiempo que evita causar un impacto ambiental.

Es importantes mencionar que el comportamiento del material respecto a ciertas condiciones, como el fuego, el agua, la resistencia mecánica, fisuras u otros; puede mejorar dependiendo del tipo de fibra empleada. (Martin Sendra , 2020)

Adicional a esto, Machaka *et al.* (2022) mencionan que el uso de fibras puede reducir la cantidad y tamaño de las grietas, con la reducción del costo de construcción y mantenimiento.

Por consiguiente, el hormigón se convierte en un material pseudodúctil, mostrando resistencia post-fisuración. Las características que definirán el comportamiento post-fisuración del hormigón reforzado con fibras son las propiedades del cemento, además del tipo y cantidad de fibra añadida a la mezcla. (Llerena Encalada , 2014)

Sin embargo, en la actualidad el sector industrial y los investigadores se enfrentan a desafíos significativos al intentar aprovechar al máximo las fibras naturales. Entre las limitaciones se destacan: la facilidad de absorción de agua y humedad, así como su naturaleza hidrofílica, que afecta la adhesión entre la matriz polimérica y la fibra. Por lo tanto, para el uso de las fibras en diversas aplicaciones, ya sean estructurales o no estructurales, es imperativo modificar sus propiedades inherentes con el fin de mejorarlas y evitar limitaciones en su uso. (Geremew et al., 2021).

## **1.6. Objetivo General**

Realizar un estudio comparativo entre las características de vigas fabricadas de hormigón armado convencionales y vigas reforzadas con fibras de carrizo.

### **1.7. Objetivos específicos**

- Recolectar información precisa sobre el hormigón reforzado y las propiedades de las fibras de carrizo para analizar su preparación previa.
- Plantear los ensayos y diseñar los elementos para cada uno.
- Analizar y comparar las dos alternativas en términos de resistencia y propiedades mecánicas.
- Evaluar costos de producción de los tipos de vigas, considerando materiales y tiempo de fabricación.
- Contribuir a la toma de decisiones en la industria de la construcción al proporcionar información concreta sobre la viabilidad de vigas reforzadas con fibras de carrizo como una opción más sostenible.

### **1.8. Pregunta de investigación**

¿Cuál es la diferencia en términos estructurales y costos entre vigas de hormigón convencional y vigas reforzadas con fibras de carrizo, y cómo influyen esto a su eficiencia y viabilidad económica en construcción?

### **1.9. Alcance**

Este proyecto de titulación está enfocado al estudio de elementos estructurales de hormigón reforzados por fibras vegetales, es decir, “Se define como hormigón reforzado con fibras a un material en el cual su principal componente es el cemento. Las fibras de refuerzo pueden pertenecer a uno o varios de los siguientes tipos: inorgánicas u orgánicas, también sintéticas o naturales.” (Llerena Encalada , 2014).

La propiedad que se pretende estudiar en esta investigación, está enfocada al refuerzo en la resistencia del hormigón, El límite de este proyecto viene dado por la Fabricación de vigas que cumplan las dimensiones establecidas por la ACI. Las mismas estarán compuestas por una

matriz cementícea con varias dosificaciones y cantidades de fibra de carrizo tratadas previamente.

Finalmente, la caracterización previa del material se realizará con ensayos en el laboratorio de suelos de la universidad siguiendo la normativa correspondiente. Es importante señalar que, debido a restricciones de tiempo y especialmente por tratarse de una evaluación preliminar del material, no se llevarán a cabo todos los ensayos exigidos por la normativa; en su lugar, se han seleccionado aquellos más destacados y disponibles. Por estas mismas limitaciones, algunos ensayos se efectuarán con un número inferior al mínimo de muestras requeridas.

Este primer análisis del material permitirá, en investigaciones subsiguientes, proponer el sistema constructivo más adecuado en función de sus características y del entorno donde se planea su implementación.

## 2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

En primer lugar, se analizó el trabajo de investigación de (Shon *et al.*, 2019), el objetivo de este estudio está enfocado en conocer si la fibra de caña se puede convertir en un material de construcción eficaz evaluando las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de una mezcla de mortero que contiene fibra de caña común, también conocida como *Phragmites australis*. Se han examinado aspectos como la densidad, porosidad, resistencia a la compresión y flexión, así como la conductividad térmica. Se prepararon seis mezclas diferentes, incluyendo porcentajes variables de fibras de caña común: 0%, 2%, 4% y 6%, además de un 0.5% de fibra de acero (SF). También se ha ensayado una combinación que incluye un 6% de fibras de caña común y un 0.5% de fibra de acero. Basándose en los resultados experimentales, se ha llevado a cabo un análisis simple sobre la pérdida de calor. Los resultados de las pruebas revelaron que la inclusión de fibras de caña común en la mezcla de mortero disminuyó proporcionalmente su peso unitario y aumentó significativamente su capacidad de absorción y porosidad. Aunque el uso excesivo de fibras de caña común no mejoró las resistencias a compresión y flexión en comparación con la mezcla estándar, la combinación de fibras de caña común y fibras de acero para aumentar estas resistencias produjo un efecto sinérgico, incrementando ambas. La adición de fibras de caña común también ofreció la ventaja de reducir significativamente la pérdida de calor en un edificio típico en Astaná, gracias a su menor conductividad térmica y una mayor relación porosidad/densidad.

Así también, se encontró en trabajo investigativo de (Machaka *et al.*, 2022), el objetivo de este estudio busca conocer cuáles son los efectos en las propiedades del hormigón al añadir fibras de *Phragmites australis*. Este estudio forma parte de una investigación más amplia sobre el uso de fibras naturales derivadas del tallo de plantas de *Phragmites australis* (PA) en el hormigón. Los tallos fueron triturados con el uso de una máquina, para obtener fibras con 40

mm de largo y 2 mm de ancho. Luego, fueron tratadas con una solución de NaOH al 4% durante 24 horas y posteriormente, lavadas, secadas y almacenadas en bolsas de polietileno para su uso.

El árido grueso que se utilizó fue piedra caliza triturada con un tamaño máximo de 19 mm, mientras que el árido fino fue una arena con un tamaño máximo de 5 mm. La clasificación de agregados se ajustó a las normas ASTM y el cemento utilizado fue PA-L 42.5. Se prepararon cuatro mezclas de hormigón con diferentes cantidades de fibras tratadas, variando del 0% (control) al 1.5% en volumen, con una relación agua/cemento del 0.5. Las probetas de hormigón se evaluaron a los 3, 7 y 28 días, realizando pruebas de resistencia a la compresión, densidad, absorción total de agua y absorción de agua por capilaridad.

Los resultados indican que la inclusión de fibras naturales de *Phragmites australis* reduce la absorción de agua, tanto por inmersión total como por capilaridad hasta en un 45%. Además, se observó una disminución mínima en la densidad y resistencia del hormigón al agregar las fibras. En conclusión, se establece que incorporar hasta un 1.5% de fibras naturales de PA en el hormigón es una estrategia viable para producir un material ecológico adecuado para la construcción sostenible, manteniendo un rendimiento mecánico y durabilidad adecuados.

De igual manera, se encontró el trabajo de investigación perteneciente a (de Rawan *et al.*, 2023). Su investigación se basa particularmente en examinar el efecto de las fibras de *Phragmites australis* y del vidrio residual como aditivos, en el rendimiento estructural de vigas de hormigón armado. Se realizaron cinco combinaciones de hormigón en el experimento, manteniendo una proporción de 1:1.5:3 entre cemento, arena y árido grueso en peso. En cuatro de estas mezclas se añadieron fibras en concentraciones del 0% (control), 0.5%, 1% y 1.5% del volumen total de la mezcla, mientras que un 10% del peso del cemento fue sustituido por vidrio.

Los tallos de la planta fueron recolectados, con el uso de una máquina mecánica se cortaron en 3 cm de largo y 2 cm de ancho, para mejorar las propiedades de adhesión de las fibras de *Phragmites australis* con la matriz y disminuir su carácter hidrofílico, se aplicó un tratamiento químico con NaOH durante 24 horas. Así también, se añadieron concentraciones variables de superplastificante a cada mezcla con la finalidad de mantener un asentamiento constante. La relación agua/cemento fue uniforme en todas las mezclas, y establecida en 0.4%. Se elaboraron cubos, cilindros y prismas de hormigón para evaluar las propiedades físicas y mecánicas, y se emplearon vigas de hormigón armado para analizar el desempeño estructural.

Los resultados revelaron que la adición de fibras de *Phragmites australis* produjo una leve disminución en la resistencia a la compresión y tracción del hormigón en comparación con la mezcla de control. No obstante, la inclusión de un 0.5% de fibras de *Phragmites australis* mejoró la resistencia a la tracción y flexión del hormigón. En términos de vigas de hormigón armado, la máxima capacidad de carga se observó en la mezcla con un 10% de fibras de vidrio y ausencia de fibras. No obstante, la mayor ductilidad y deflexión se registraron en la mezcla que contenía un 10% de fibras de vidrio y un 0,5% de fibras de *Phragmites australis*.

En consecuencia, la inclusión de fibras de *Phragmites australis* puede mejorar el rendimiento estructural del hormigón.

## **2.2.Marco Conceptual**

### **2.2.1. Hormigón**

El enfoque de estudio en esta investigación es específico, y comprender la formación del concepto y los factores que inciden en su desarrollo y naturaleza resulta fundamental. El hormigón se caracteriza como una composición compacta y homogénea de árido fino, árido grueso, aglutinante y agua, en las proporciones adecuadas para su fraguado y endurecimiento. Durante el proceso de mezcla, pueden incorporarse otros materiales o sustancias con el



propósito de mejorar ciertas propiedades específicas del hormigón. Como resultado, existen diversas clasificaciones de hormigón, tales como hormigón regular, a granel, armado, pretensado, mixto, ligero, y otros. (Tovar Bernaola, 2021).

### 2.2.2. Componentes del hormigón

Debido a la composición del hormigón, resulta necesario realizar una dosificación correcta para garantizar la conformidad con los estándares de calidad establecidos por cada país. Los elementos principales del hormigón incluyen el cemento, el árido fino, el árido grueso, el agua y los aditivos (Tovar Bernaola, 2021). En el caso específico de nuestra investigación, el aditivo más importante que se agregará a la mezcla son las fibras de carrizo.

- **Cemento Portland.** El cemento Portland es reconocido como el tipo de cemento más destacado y renombrado a nivel mundial. Su denominación se origina por su semejanza con el tono gris azulado de la caliza natural que se explotaba en la Isla Pórtland. Su producción implica el calentamiento, a una temperatura cercana al punto de fusión, de una combinación de materiales calizos y arcillosos. Este proceso resulta en la formación de Clinker, una sustancia secante, y se muele con la adición de mineral de yeso que actúa como regulador del fraguado, culmina en la obtención del cemento. El tipo de materiales añadidos, porcentajes o sus proporciones se diseñan en base al tipo de cemento que se desea obtener. (Tovar Bernaola, 2021).
- **Cemento tipo I:** Este tipo de cemento es de uso general en la construcción, se emplea en proyectos que no demandan propiedades especiales que lo protejan de agentes corrosivos como sulfatos, cloruros y de temperaturas originadas por calor de hidratación. Este tipo de cemento se produce mediante la trituración conjunta del clinker tipo I y yeso, lo que garantiza una mayor resistencia inicial y un tiempo de fraguado más breve. Entre sus usos más destacados están: Estructuras que requieren un

desencofrado rápido, hormigón en condiciones climáticas frías, cimentaciones, pavimentos, estructuras y elementos prefabricados. (Tovar Bernaola, 2021)

- **Cemento tipo II:** Este tipo de cemento se emplea en proyectos de hormigón en general, así como en entornos donde hay una exposición moderada a los sulfatos, mientras las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo habitual sin llegar a ser severas o cuando se necesita un moderado calor de hidratación durante el fraguado. Para lograr estas propiedades específicas, se establece un límite para la cantidad de Silicato Tricálcico (C3S) y Aluminato Tricálcico (C3A) del cemento. (Tovar Bernaola, 2021).

El cemento tipo II desarrolla resistencia de manera más lenta que el tipo I; aun así, alcanza la misma resistencia. Se puede utilizar en proyectos de gran volumen y proyectos de hormigón que están expuestos al agua salada del mar y en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)

- **Cemento tipo III:** Este tipo de cemento es recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en circunstancias especiales. Ofrece un hormigón cuya resistencia a la compresión a los 3 días es aproximadamente igual a la resistencia a los 7 días; y a los 7 días, alcanza la misma resistencia que el hormigón tipo I y II a los 28 días. Sin embargo, debido al desprendimiento de calor, no se aconseja su uso en proyectos de hormigón de gran volumen. Con un contenido de Aluminato Tricálcico (C3A) del 15%, exhibe una baja resistencia a los sulfatos. Para obtener una resistencia moderada a los sulfatos, el contenido de Aluminato Tricálcico puede limitarse al 8%, mientras que, para una alta resistencia, puede reducirse al 5%. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015).
- **Cemento tipo IV:** Se trata de un tipo de cemento que fragua lentamente y no produce grandes cantidades de calor durante el proceso de hidratación, por lo que es ideal para proyectos de trabajo pesado que no demandan una alta resistencia inicial. Para lograr

este efecto, es fundamental controlar las proporciones de Silicato Tricálcico (C3S) y Aluminato Tricálcico (C3A), ya que son estos componentes los que influyen principalmente en el inicio del fraguado y generan la mayor cantidad de calor durante la hidratación. (Tovar Bernaola, 2021).

Este cemento se usa en estructuras de hormigón masivo, con bajas relaciones superficie/volumen bajas. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)

- **Cemento tipo V:** Este tipo de cemento exhibe una notable resistencia frente al deterioro causado por la presencia de sulfatos, esta resistencia se logra disminuyendo el contenido de Aluminato Tricálcico (C3A) en un porcentaje menor o igual al 5%, lo que lo convierte en una opción ideal para proyectos de ingeniería hidráulica que involucran aguas altamente alcalinas o en diversas obras de construcción. (Tovar Bernaola, 2021).
- **Agregados.** El hormigón se compone de una mezcla de cemento y agua, en la cual se compactan partículas de un material llamado árido, que representa entre el 65% y el 80% del volumen total de un bloque de hormigón. Se clasifican en agregados finos y gruesos. Es importante que el árido presente buena resistencia, durabilidad y capacidad para resistir la intemperie, así como que su superficie esté libre de impurezas tales como limo, arcilla y materia orgánica, las cuales podrían comprometer la adherencia con la pasta de cemento. (Tovar Bernaola, 2021)
- **Granulometría.** La granulometría es una distribución que se utiliza para determinar el tamaño de los granos que componen una masa mineral, la cual se realiza mediante el análisis granulométrico, con el uso de una serie de tamices. Del cual se pueden considerar los siguientes tipos de granulometrías:
  - Bien gradada: Si el agregado muestra una distribución uniforme de sus partículas (mayor a menor).
  - Mal gradada: Existe discontinuidad de agregados en cada tamiz.

- Uniforme: Las partículas posee el mismo tamaño.
- Abierta o discontinua: Si al realizar el análisis, varios tamices no retuvieron material.

(Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)

- **Análisis Granulométrico.** Este análisis implica en dividir una masa de agregados en partes iguales, y luego pasarlos por medio de una serie de tamices dispuestos en orden descendente de apertura. Para realizar este análisis se sigue la norma ASTM C-136. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)
- **Agregado Fino.** Los áridos finos o arenas se componen de materiales resultantes de la desintegración natural de las rocas, extraídas de diversas fuentes como ríos, lagos, depósitos volcánicos o también pueden ser artificiales, es decir, producidas de manera manufacturada. Este material debe ser químicamente inerte, sin ningún tipo de recubrimiento y suele estar compuesto por partículas que oscilan entre los 4.75 y 0.075 mm de tamaño. (Ayala Sánchez & Suarez Martinez, 2015)
- **Agregado Grueso.** Fracción del agregado que queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Será el resultado de la trituración de rocas o grava, o bien, de una combinación de ambas; sus fragmentos deben ser limpios, fuertes y duraderos, sin presentar un exceso de partículas planas, alargadas, blandas o propensas a la desintegración. Además, debe estar libre de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias no deseadas que pueden afectar negativamente la calidad de la mezcla. (Gonzalez Patarroyo & Roncancio Becerra, 2015)
- **Agua.** El agua que será utilizada en la elaboración del hormigón debe cumplir con los requisitos establecidos por la Norma NTP 339.088 y ASTM C 109M. Se establece como referencia la calidad del agua potable. (Mamani Flores, 2020).

### 2.2.3. Propiedades del Hormigón

#### ○ *Propiedades en estado fresco.*

- **Consistencia.** La consistencia del hormigón fresco se refiere a su capacidad para deformarse, ya sea de forma más o menos fácil. Este aspecto varía según diversos factores, incluyendo la cantidad de agua utilizada en la mezcla, el tamaño máximo de los áridos, la granulometría y la forma de estos entre otros; aunque el más influyente suele ser la cantidad de agua de amasado. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)
- **Trabajabilidad o docilidad.** La trabajabilidad del hormigón se refiere a las condiciones en las que se encuentra una vez colocado en la obra, y su capacidad para ser compactado con los implementos disponibles. Esta característica está estrechamente relacionada con la densidad del hormigón, es decir, con su capacidad de deformación, uniformidad, la adecuada unión entre sus distintos componentes, y la facilidad con la que la masa puede liberar el aire atrapado, alcanzando una compacidad óptima. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)
- **Homogeneidad.** La homogeneidad del hormigón se refiere a la uniformidad con la que sus componentes están distribuidos en toda su masa, de manera que dos muestras tomadas de diferentes lugares resulten idénticas entre sí. Está influenciada por varios factores como: El proceso de amasado debe ser adecuado, durante el transporte, se deben evitar segregaciones y decantaciones que puedan ocurrir debido a movimientos bruscos y es crucial una colocación adecuada en obra. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)

#### ○ *Propiedades en estado endurecido.*

- **Resistencia a la Compresión.** Es una de las propiedades mecánicas más importantes del hormigón, para determinarla se utilizan probetas normalizadas de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, que se ensayan a compresión a diferentes edades del hormigón: 7,

21 y 28 días bajo condiciones de humedad controladas. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015).

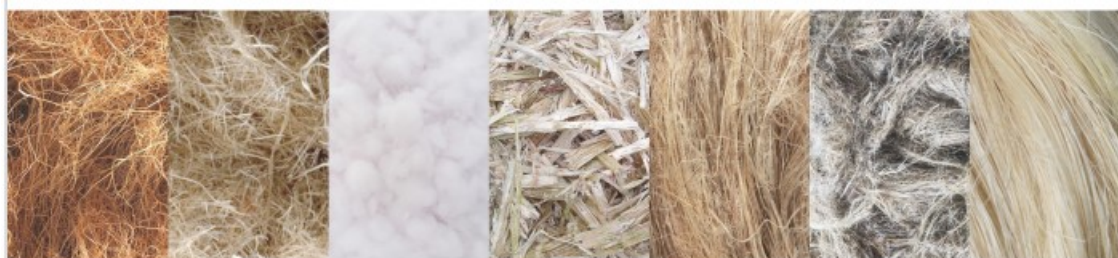
La resistencia a la compresión de hormigones estándar (210–280 kg/cm<sup>2</sup>) y de resistencia media (350-420 kg/cm<sup>2</sup>) está principalmente influenciada por la proporción entre agua y cemento, a una menor proporción de agua/cemento se obtiene una mayor resistencia y por el grado de compactación, mientras mayor sea tendrá una mayor resistencia. (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)

- **Resistencia a la Tracción.** La resistencia a la tracción es considerablemente menor que la resistencia a la compresión, pero sigue siendo significativa para el hormigón en aspectos como: Fisura, esfuerzo cortante, adherencia de armaduras, etc. Existen tres métodos para determinar la resistencia a la tracción: Por flexión (módulo de rotura), por hendimiento (Tracción indirecta) y mediante tracción axial (Tracción directa). (Borja Quintanilla & Rea Castillo, 2015)
- **Esfuerzo de flexión.** El impacto que tienen las fibras en la resistencia a la flexión del hormigón y el mortero es mayor que para la resistencia a compresión y tensión. (Tovar Bernaola, 2021).

#### **2.2.4. Fibras Vegetales**

Las fibras vegetales, tal como se muestran en la Figura 2.1, se pueden extraer de distintas partes de la planta y se pueden usar sin un procesamiento extenso, estas fibras se han empleado mucho antes de añadirlo al hormigón, como ejemplo de esto se tiene el adobe o morteros de cal. Su uso más extenso como un material aglomerante, fue su uso en tejas (Sika, 2014).

Figura 2.1: Tipos de fibras naturales.



Fuente: (Martin Sendra , 2020)

Estas presentan una serie de ventajas respecto a las fibras artificiales en términos de accesibilidad, menor costo, baja densidad, buena relación módulo-peso, capacidad de amortiguación acústica elevada, menor consumo de energía en su producción industrial. (Geremew et al., 2021). Además, estas fibras al ser materiales que se consideran sustentables presentan ventajas de biodegradabilidad y renovabilidad. (Pérez Gómez Martínez *et al.*, 2023; Thyavihalli Girijappa *et al.*, 2019)

Las fibras naturales presentan baja densidad y propiedades mecánicas específicas similares a las de los refuerzos tradicionales. Por ende, sus propiedades intrínsecas pueden satisfacer las demandas del mercado internacional. (Geremew et al., 2021). Así mismo mejoran las características y propiedades del hormigón en la fabricación de vigas con fibras ecológicas tales como carrizo o vidrio residual. (Reyes Antileo *et al.*, 2022).

### **2.2.5. Tratamientos químicos para Fibras**

Previo a su uso, las fibras necesitan ser modificadas respecto a sus características morfológicas superficiales para incrementar su irregularidad, favorecer la interacción entre la matriz y la fibra, así como, prevenir las deficiencias asociadas a las fibras naturales como baja humectabilidad, unión débil, absorción de agua y absorción de humedad. (Geremew *et al.* 2021).

Se han utilizado varios aditivos de manipulación y agentes de emparejamiento para fortalecer la conexión de las fibras. Desde esta perspectiva, se han sugerido numerosos

enfoques al intentar la alteración bioquímica artificial de las fibras y el servicio para polímeros expertos en emparejarse con los grupos hidroxilo de la reducción celulósica superficial mientras se aplica dicho químico en su superficie. La presencia de celulosa en la fibra, de naturaleza hidrofílica, altera la unión.

- **Tratamiento alcalino.** Tratar fibras para diferentes aplicaciones con una solución de NaOH durante un intervalo de tiempo específico. Mediante este proceso se elimina parcialmente la lignina y hemicelulosa, así como la eliminación completa de pectina, cera y otros compuestos orgánicos de la superficie de las fibras. Posterior a este tratamiento, las moléculas de celulosa adicionales quedan expuestas, lo que favorece la unión entre la fibra y la matriz. La concentración de NaOH, las temperaturas de secado y el tiempo de tratamiento son aspectos críticos que influyen en las propiedades mecánicas de los compuestos en la etapa final. Varios estudios demostraron que, mientras más bajas sean las concentraciones de tratamiento con álcalis, su índice de cristalinidad será mayor. (Geremew *et al.*, 2021).

Además, otra investigación de (Lu *et al.*, 2012) cuyo título es “Composición, estructura y propiedades mecánicas del compuesto reforzado con fibra de cáñamo con matriz de polietileno reciclado de alta densidad” observaron que el tratamiento previo con álcalis en las fibras de cáñamo, provocó que los compuestos de polietileno con dichas fibras tuvieran un aumento del 56.8% y del 61.7% en la resistencia a la tracción, módulo elástico y el módulo de flexión.

- **Tratamiento con silano.** El tratamiento se lleva a cabo utilizando agua purificada con una concentración de acoplamiento de silano al 5%, durante una hora a 25 grados Celsius. Posteriormente, las muestras se deben secar en un horno eléctrico durante 24 horas a 50 grados Celsius. En varios ensayos experimentales se reveló que la deformación por



fluencia a tracción y flexión del compuesto se redujo con el tratamiento de silano en comparación de las fibras no tratadas. Entre los factores determinantes para la eficacia del tratamiento están: La concentración de silano, la temperatura, el período de hidrólisis y el pH. (Geremew *et al.*, 2021)

Uno de los resultados experimentales, demostró que el uso de silano alteró la fibra de manera más resistente que la del tratamiento alcalino, obteniendo compuestos con mayor resistencia a la tracción. (Valadez-Gonzalez *et al.*, 1999).

- **Tratamiento con acetilación.** El uso de grupos acetilo en la superficie de la fibra tiene el objetivo de disminuir la naturaleza hidrofílica de las fibras, lo que contribuirá a mantener la consistencia del material compuesto y mejorar las propiedades de unión entre la matriz y las fibras. Los grupos OH de las fibras conformados por la lignina y la hemicelulosa se unen nuevamente con los grupos acetilo, lo que conduce a una naturaleza más hidrofóbica. (Geremew *et al.* 2021)
- **Tratamiento con anhídrido maleico.** Utilizado para reforzar los compuestos que contienen fibras naturales y polímeros no polares. Las propiedades mecánicas de dichos compuestos experimentan mejoras a medida que el agente de acoplamiento interviene en la superficie de la fibra y se integra con un polímero en el otro extremo. (Geremew *et al.*, 2021)
- **Tratamiento con cloruro de Benzoilo.** Este proceso mejora la adhesión entre la fibra y la matriz, lo que resulta en un aumento significativo en la resistencia del material compuesto, una reducción en su absorción de agua y una mejora en su estabilidad térmica. Para llevar a cabo este procedimiento químico, las fibras son inicialmente tratadas con una solución de NaOH durante 15 minutos, posteriormente se realizó un tratamiento con cloruro de benzoilo. Luego, las fibras permanecieron en cuarentena y

tratadas con etanol. Finalmente se utilizó un horno para secarlas, a una temperatura de 80 grados Celsius por 24 horas. (Geremew *et al.*, 2021)

#### **2.2.6. Carrizo**

El carrizo (*Phragmites Australis*) que se muestra en la Figura 2.2, es una planta perteneciente a la familia Poaceae o gramíneas, también llamada caña o caña común, tiene similitudes con el bambú, pero se caracteriza porque de cada nudo sale una única hoja que cubre el tallo. Se encuentra en humedales, es perenne y puede alcanzar los 4 metros de altura como máximo y 2 cm de diámetro. (Carranza Cortez & Tasilla López, 2022).

Tiene un color verde intenso y brillante; sin embargo, al perder humedad, su tonalidad cambia a una coloración dorada. En cuanto a su flexibilidad, esta disminuye gradualmente a medida que el material se seca, volviéndose más rígido con el tiempo. (Bautista Castillo & Rojas Ruiz, 2022).

La planta de *Phragmites australis* se ha empleado con frecuencia desde la antigüedad en diversas áreas de la construcción. Debido a su capacidad de crecimiento rápido, sus propiedades únicas y su revestimiento de sílica en el tallo, en particular, no absorbe agua ni humedad, lo que lo hace adecuado para su uso en la construcción de paredes, tabiques, cercas y material aislante. (Machaka *et al.*, 2022)

Figura 2.2: Phragmites Australis (PA).



Fuente: (Paquin, 2021)

El carrizo muestra potencial para ser aprovechada como una fuente de productos de alto valor, como biocombustibles y materiales de construcción, lo que contribuiría a una gestión económica y sostenible de la contaminación del agua y las aguas residuales, así como a la producción de hormigón sostenible. (Machaka *et al.*, 2022)

En la construcción se utilizan sus tallos al producir hormigón, puesto que es el principal objeto de estudio en el ámbito biodegradable y renovable de la construcción (de Rawan *et al.*, 2023).

### **3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

#### **3.1.Enfoque**

En el presente proyecto de investigación se adopta un enfoque cuali-cuantitativo. Porque el proyecto implica una interpretación de datos y resultados obtenidos, también se realizarán ensayos en los distintos materiales que nos permita determinar el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de carrizo.

#### **3.2.Diseño Investigación**

El diseño de investigación será experimental. La investigación comienza con la observación directa de los datos disponibles, en nuestro proyecto se compararán las vigas de hormigón convencional y vigas de hormigón reforzadas con fibra de carrizo, para describir las diferencias entre ambas.

#### **3.3.Muestra de estudio**

- El diseño para dosificar el hormigón, se tomará en cuenta la misma cantidad de agua para el hormigón de control y el hormigón reforzado con distintos porcentajes de fibras de carrizo.
- Se utilizará una relación agua/cemento y agua / cemento / (cemento + fibra) para la preparación de hormigones de control y reforzados con fibra.
- Los porcentajes de fibras que se añadirán a las muestras se miden en base al volumen, y los valores son 0% en la muestra de control y 1.5% de fibras de carrizo en las muestras reforzadas.
- Las muestras que se realizarán son:
  - Cilindros con dimensiones: 30cm x 15cm
  - Vigas con dimensiones: 15cm x 15cm x 50cm.
- La cantidad de cilindros que se fabricarán son 12. Los cuales servirán para evaluar la calidad y resistencia del hormigón elaborado.

- La cantidad de vigas que se fabricarán son 18.
- Los ensayos se realizarán a los 7 y 14 días posteriores al proceso de curado, considerando que se empleará cemento tipo HE.

### **3.4.Hipótesis**

La incorporación de fibra de carrizo en la mezcla de hormigón, en distintos porcentajes mejora las propiedades de las vigas.

### **3.5.Procedimiento de la Investigación**

Para llevar a cabo este proyecto de titulación, se considerarán tanto la revisión bibliográfica como la fase experimental, siguiendo un plan estructurado de acuerdo con los objetivos establecidos.

- ✓ ***Recopilación de información.*** En esta fase del proyecto se revisará de forma exhaustiva la literatura relacionada con nuestro tema de investigación, así como se buscarán antecedentes relevantes para el estudio. Este proceso implica analizar investigaciones previas, relacionados, documentos académicos y cualquier otra fuente de información pertinente que pueda contribuir al desarrollo y cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Con base en la información pertinente y validada, se dará inicio a la elaboración del proyecto, realizando un análisis previo de literatura y los datos recolectados en nuestra fase investigativa preliminar.

- ✓ ***Diseño y ejecución del proyecto.*** Para iniciar la etapa experimental del proyecto, es imperativo haber diseñado previamente los elementos que vamos a ensayar, especificando las dimensiones y la cantidad de cilindros y vigas a ser utilizados. Además, se debe determinar los porcentajes de fibras a incorporar en cada muestra, en nuestro

caso los valores oscilan entre el 0% y el 1.5%, considerando que los valores van a optimizar los ensayos planeados.

A continuación, en la etapa de ensayos, es fundamental mencionar que las pruebas se llevarán a cabo tanto a los 7 días como a los 14 días de curado, con el fin de recopilar los datos necesarios para nuestro estudio. Seguidamente, se procederá al análisis y comparación de los resultados obtenidos en nuestra fase experimental.

Al culminar esta etapa, se realizará una evaluación del costo de cada propuesta, seguida de una comparación, lo que permitirá generar conclusiones y recomendaciones valiosas para la industria de la construcción y para las investigaciones futuras sobre materiales ecológicos.

### **3.6. Materiales**

**3.6.1 Agregados.** Los agregados componen un alto porcentaje de la mezcla y pueden afectar por granulometría, forma y textura. Los agregados pueden diferenciarse por:

- **Tamaño.** Se dividen en agregados gruesos y finos.
- **Origen.** Pueden ser categorizados en dos tipos: aquellos de origen natural, que provienen de fuentes como ríos y canteras; y los de origen artificial, que se derivan de materiales previamente procesado como arcillas, Clinker y escorias.

Los agregados que se utilizarán son:

- **Grueso:** Grava con un diámetro máximo de  $\frac{3}{4}$ " , como se muestra en la Figura 3.1

Figura 3.1: Agregado grueso utilizado en el proyecto.



Fuente: Elaboración propia

- *Fino*: Arena triturada, como se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3.2: Agregado fino utilizado en el proyecto.



Fuente: Elaboración propia

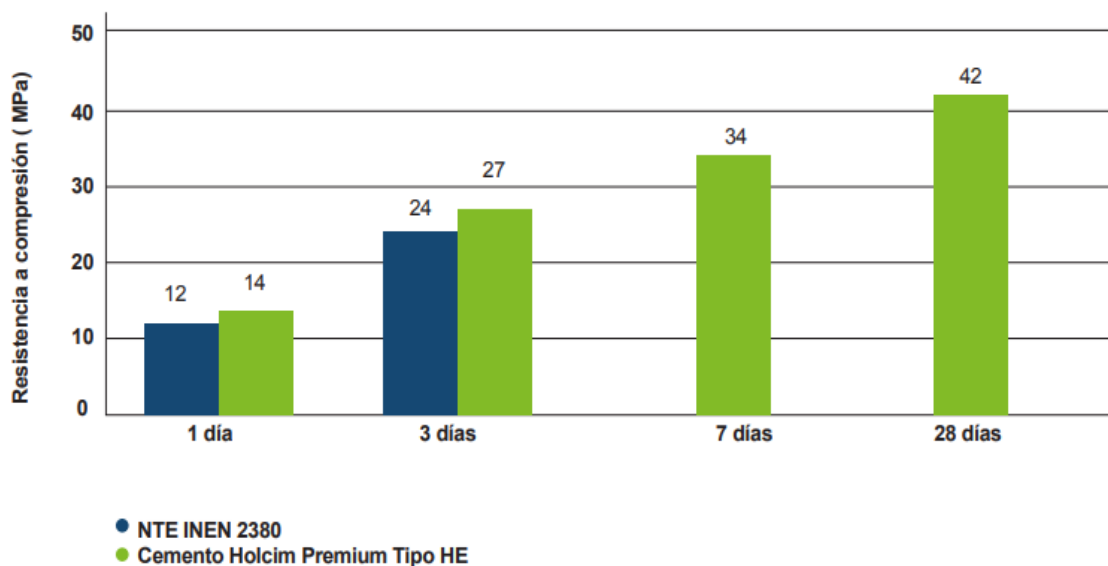
**3.6.2 Cemento.** El cemento seleccionado para el proyecto de titulación es el cemento Tipo HE por sus siglas en inglés de “High Early-strenght”, es un cemento hidráulico de alta resistencia inicial, producido según la Norma Ecuatoriana NTE INEN 2380, en consonancia con la Norma ASTM 1157. Esta reglamentación proporciona directrices para la fabricación de cementos con adiciones que minimizan el impacto ambiental y

optimizan el uso de materias primas. En comparación con los cementos convencionales, el Holcim Premium Tipo HE ofrece mezclas con una mayor resistencia en todas las etapas de fraguado.

Este tipo de cemento se utiliza en una amplia gama de aplicaciones de ingeniería, especialmente en obras que requieren hormigones de alta resistencia mecánica y rápida puesta en servicio, como elementos prefabricados, edificaciones y estructuras masivas.

Los beneficios de utilizar un cemento tipo HE son diversos. Este cemento proporciona altas resistencias iniciales y finales, superando los estándares especificados en la Norma NTE INEN 2380, como se observa en la Figura 3.3.

Figura 3.3: Comparación en la resistencia a compresión del cemento HE y los valores especificados en la INEN 2380.



Fuente: (HOLCIM, 2024)

Además, mejor la trabajabilidad de las mezclas y reduce problemas como la segregación y la exudación. También disminuye el calor de hidratación, lo que reduce la tendencia a la fisuración en estructuras grandes. Otros beneficios incluyen ahorros significativos en el consumo de cemento por metro cúbico de hormigón, una rápida puesta en servicio de estructuras y vías de hormigón; y facilidad de desencofrado.

(HOLCIM, 2024)



**3.6.3 Agua.** Es uno de los componentes más importantes al preparar una mezcla de hormigón. El agua empleada en la preparación no debe contener impurezas que puedan interferir con el proceso de fraguado. El agua será potable, es decir, incolora, inodora, insípida y sin materia orgánica disuelta o en suspensión.

Cuando no se dispone de infraestructuras de distribución de agua potable, es común recurrir a fuentes naturales. Sin embargo, es esencial considerar que estas fuentes pueden contener contaminantes orgánicos, por lo que es necesario aplicar un tratamiento físico, como la filtración, para eliminar dichos contaminantes.

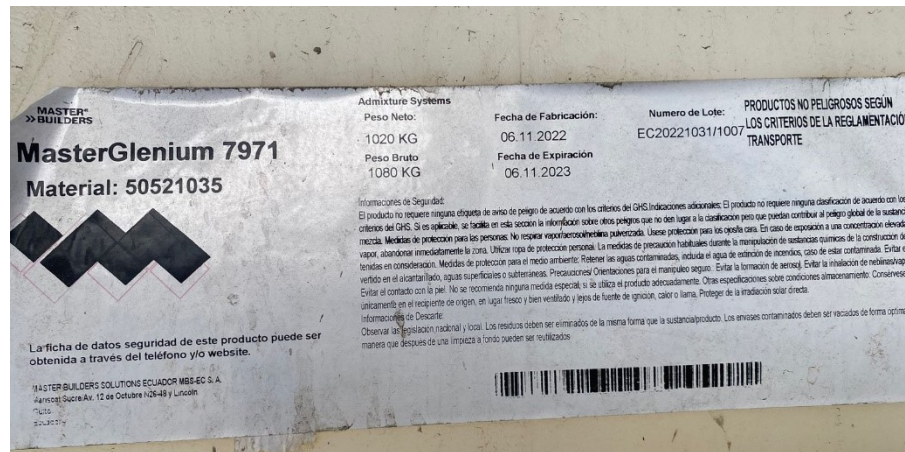
El agua es importante en todos los procesos de producción de un elemento de hormigón:

- Agua de hidratación.
- Agua evaporable.
- Agua para el curado de muestras.
- Agua capilar.

**3.6.4 Aditivo.** Para la ejecución de este proyecto se empleará el aditivo superplastificante reductor de agua, a base de poli carboxilatos de la línea MasterGlenium 7971, el cual se puede observar en la Figura 3.4, elaborada por Master Builders Solutions.

La gama de productos MasterGlenium se distingue por ofrecer aditivos de reducción de agua de alta gama, de última generación, especialmente diseñados para aplicaciones donde la consistencia, las elevadas resistencias iniciales y la durabilidad son de vital importancia. (Master Builders Solutions Ecuador S.A., 2024).

Figura 3.4: Aditivo MasterGlenium 7971.



Fuente: Elaboración propia

**3.6.5 Carrizo.** El carrizo constituye la materia prima que requerirá especial atención en su tratamiento. Para nuestro proyecto, el carrizo seleccionado que se muestra en la Figura 3.5 proviene de Santa Isabel. Es relevante mencionar que este material presenta la particularidad de regenerarse continuamente y no existe riesgo de extensión, lo que lo convierte en una opción sustentable y económicamente viable.

Figura 3.5: Carrizo seleccionado.



Fuente: Elaboración propia

- **Obtención y procesamiento de las fibras de carrizo.** La recolección del carrizo se lleva a cabo cuando ha alcanzado al menos un año de crecimiento, tras lo cual se deja secar en un entorno libre de humedad. Posteriormente, se procede a la eliminación de impurezas como insectos, arena, polvo, hojas secas, entre otros elementos. A continuación, se realiza el proceso de desfibrado de manera manual hasta alcanzar las medidas que necesitamos como se observa en la Figura 3.6.

*Figura 3.6:* Proceso de desfibrado manual.



*Fuente:* Elaboración propia

En el marco de nuestro proyecto de titulación, se han establecido dos técnicas de refuerzo. La primera técnica consiste en la inclusión de fibras cortas como se observa en la Figura 3.8, vertidas directamente en la mezcla, mientras que la segunda implica la aplicación de un trenzado de fibras diseñado como se muestra en la Figura 3.7.

*Figura 3.7:* Diseño del trenzado con fibras de carrizo.



*Fuente:* Elaboración propia

Para llevar a cabo estas estrategias, se han definido las siguientes dimensiones:

- Fibras cortas = Largo: 4 cm x Ancho: 2 - 4 mm

*Figura 3.8:* Fibras cortas.



*Fuente:* Elaboración propia

- Fibras para el trenzado, Figura 3.9 = Largo: 44 cm x Ancho: 1 cm

Largo: 9 cm x Ancho: 1 cm

*Figura 3.9:* Fibras empleadas para la técnica de refuerzo con trenzados.



*Fuente:* Elaboración propia

- ***Tratamiento químico aplicado a las fibras.*** Dentro del alcance de nuestra investigación, se empleó un tratamiento químico alcalino para procesar las fibras, tal como se puede observar en la Figura 3.10, con la finalidad de eliminar parcialmente la lignina y la

hemicelulosa. Específicamente, se utilizó hidróxido de sodio con una concentración del 2% (20 gramos por litro de agua) durante un período de 24 horas.

La duración del tratamiento químico de las fibras y el período de secado son aspectos críticos para preservar la resistencia de las fibras y simultáneamente eliminar la mayor cantidad posible de sustancias que podrían influir en la mezcla.

*Figura 3.10:* Fibras de carrizo tratadas con Hidróxido de sodio.



*Fuente:* Elaboración propia

Una vez completado el proceso de tratamiento, se procede a realizar un lavado a las fibras con el fin de eliminar cualquier remanente de hidróxido, como se observa en la Figura 3.11.

*Figura 3.11:* Proceso de lavado de las fibras.



*Fuente:* Elaboración propia

Posteriormente, durante el estado húmedo de las fibras, se llevará a cabo la remoción de la parte frontal, la cual exhibe una textura completamente lisa como se indica en la Figura 3.12. Este procedimiento tiene como objetivo facilitar la correcta adherencia de las fibras al hormigón.

*Figura 3.12:* Comparación de superficies de las fibras de carrizo.



*Fuente:* Elaboración propia

Finalmente, las fibras son dispuestas en un ambiente desprovisto de humedad y cubierto para su secado, durante un período aproximado de 2 días, como se puede observar en la Figura 3.13:

*Figura 3.13:* Secado de las fibras.



*Fuente:* Elaboración propia

### 3.7. Análisis granulométrico

Este tipo de ensayo se emplea en el ámbito de la geotecnia e ingeniería civil con el propósito de analizar la distribución de agregados, tanto finos como gruesos. (NTE INEN 696, 2011). El ensayo fue llevado a cabo con una muestra del agregado fino y grueso destinados a la preparación de las vigas y cilindros. El procedimiento se detalla a continuación:

Inicialmente, se seleccionó la muestra y se sometió a un proceso de secado en un horno durante un período determinado, como se muestra en la Figura 3.14.

Figura 3.14: Proceso de secado de los áridos.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se llevó a cabo el tamizado. La muestra previamente secada en el horno fue depositada íntegramente en el tamiz principal, como se puede observar en la Figura 3.15.

Figura 3.15: Adición de la muestra en los tamices.



Fuente: Elaboración propia.

Se empleó un equipo especializado que facilitó el paso de la muestra a través de una serie de tamices con mallas de tamaños graduales decrecientes. Este procedimiento permitió separar los agregados, ubicándolos en los tamices correspondientes según su tamaño, como se observa en la Figura 3.16.

*Figura 3.16: Tamizado de los áridos.*



*Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, se procedió a pesar la muestra retenida en cada tamiz, tal como se muestra en la Figura 3.17.

*Figura 3.17: Distribución de los áridos retenidos en cada tamiz.*



*Fuente: Elaboración propia.*



### 3.7.1. Análisis granulométrico del árido grueso.

Los resultados obtenidos para el agregado grueso se muestran a continuación.

En la Tabla 3.1 se presenta porcentaje retenido y el porcentaje que pasa de la muestra total.

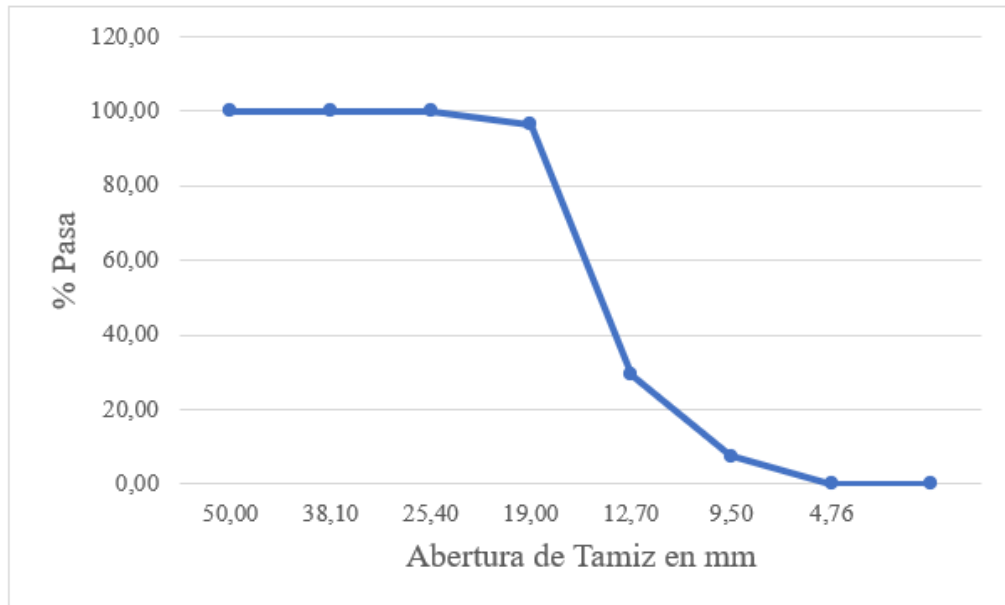
Tabla 3.1: *Porcentaje de árido grueso retenido y porcentaje que pasa.*

Numero de tamiz en pulgadas	Tamiz en milímetros	Peso parcial	Peso Acumulado	% Retenido	% Pasa
2''	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2''	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1''	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4''	19,00	367,00	367,00	3,67	96,33
1/2''	12,70	6703,00	7070,00	70,70	29,30
3/8''	9,50	2172,00	9242,00	92,42	7,58
4''	4,76	748,00	9990,00	99,90	0,10
Pasa 4''		10,00	10000,00	100,00	0,00

*Fuente:* Elaboración propia.

En la Figura 3.18, se grafican estos resultados para obtener la respectiva curva granulométrica.

Figura 3.18: Curva granulométrica del árido grueso.



Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de árido grueso que atraviesa el tamiz N°4, en relación al peso inicial de la muestra seca antes de ser sometida al proceso de lavado, se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{B-C}{B} * 100 \quad \text{Ecuación 3.1}$$

A = Porcentaje de partículas del árido grueso.

B = Masa seca antes del lavado en gramos.

C = Masa seca después del lavado en gramos.

$$A = \frac{1500 - 1482,09}{1500} * 100$$

$$A = 1,19 \%$$

A continuación, se calcula la densidad y absorción como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: *Tabla de pesos del árido grueso y su absorción.*

<b>Peso superficialmente saturado (Peso SSS)</b>	<b>A</b>	1500 gr
<b>Peso del picnómetro más agua + material</b>	<b>B</b>	8390 gr
<b>Peso del picnómetro más agua</b>	<b>C</b>	7448 gr
<b>Peso seco</b>	<b>D</b>	1482,09 gr
<b>Peso específico seco</b>	$= \frac{D}{A-(B-C)} = \frac{1482,09}{1500-(8390-7448)}$	2,656
<b>Peso específico SSS</b>	$= \frac{A}{A-(B-C)} = \frac{1500}{1500-(8390-7448)}$	2,688
<b>Peso específico aparente</b>	$= \frac{D}{D-(B-C)} = \frac{1482,09}{1482,09-(8390-7448)}$	2,744
<b>% Absorción</b>	$= \frac{A-D}{D} * 100 = \frac{1500-1482,09}{1482,09} * 100$	1,208

*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.7.2. Análisis granulométrico del árido fino.

Los resultados obtenidos para el agregado fino se muestran a continuación.

En la Tabla 3.3 se presenta porcentaje retenido y el porcentaje que pasa de la muestra total.

Tabla 3.3: *Porcentaje de árido fino retenido y porcentaje que pasa.*

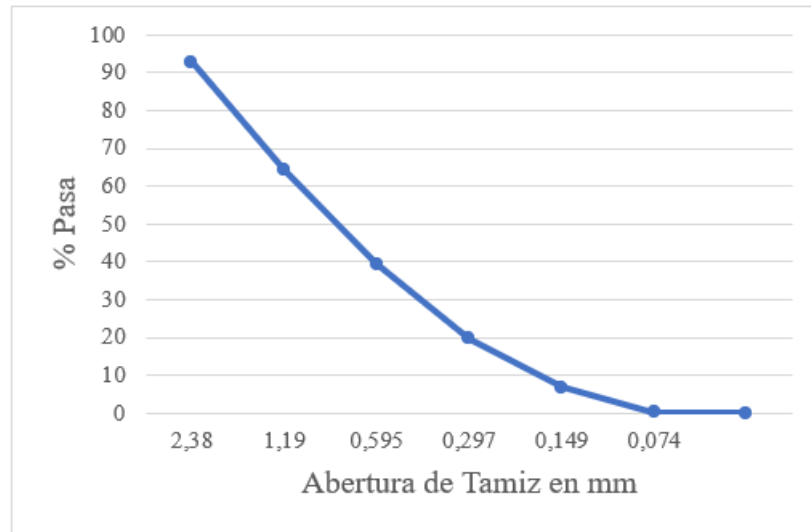
<b>Numero de tamiz en pulgadas</b>	<b>Tamiz en milímetros</b>	<b>Peso parcial</b>	<b>Peso Acumulado</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Pasa</b>
8''	2,38	50,04	50,04	7,15	92,85
16''	1,19	200,98	251,02	35,86	64,14
30''	0,595	172,55	423,57	60,51	39,49
50''	0,297	138,83	562,4	80,342	19,66

100''	0,149	89,81	652,21	93,17	6,83
200''	0,074	45,62	697,83	99,69	0,31
pasa 200''		2,17	700	100	0

*Fuente:* Elaboración propia.

En la Figura 3.19, se grafican estos resultados para obtener la respectiva curva granulométrica.

*Figura 3.19:* Curva granulométrica del árido fino.



*Fuente:* Elaboración propia.

El porcentaje de árido fino que atraviesa el tamiz N°4, en relación al peso inicial de la muestra seca antes de ser sometida al proceso de lavado, se calcula con la Ecuación 3.1:

$$A = \frac{B-C}{B} * 100$$

$$A = \frac{500 - 495,34}{500} * 100$$

$$A = 0,932\%$$

A continuación, se calcula la densidad y absorción como se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Tabla de pesos del árido fino y su absorción.

<b>Peso superficialmente saturado (Peso SSS)</b>	<b>A</b>	500 gr
<b>Peso del picnómetro más agua + material</b>	<b>B</b>	952,19 gr
<b>Peso del picnómetro más agua</b>	<b>C</b>	650,67 gr
<b>Peso seco</b>	<b>D</b>	495,34 gr
<hr/>		
<b>Peso específico seco</b>	$= \frac{D}{A-(B-C)} = \frac{495,34}{500-(952,19-650,67)}$	2,496
<b>Peso específico SSS</b>	$= \frac{A}{A-(B-C)} = \frac{500}{500-(952,19-650,67)}$	2,519
<b>Peso específico aparente</b>	$= \frac{D}{D-(B-C)} = \frac{495,34}{495,34-(952,19-650,67)}$	2,556
<b>% Absorción</b>	$= \frac{A-D}{D} * 100 = \frac{500-495,34}{495,34} * 100$	0,94

*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.8. Elaboración de muestras

Para llevar a cabo los ensayos previamente definidos, se realizarán las muestras que se observan en la Tabla 3.5, cada una caracterizada por diferentes porcentajes de fibras y técnica de refuerzo.

Es fundamental destacar que durante la ejecución de este proyecto de investigación se realizaron dos dosificaciones para las muestras destinadas a ser ensayadas a los 7 días, debido a un incidente técnico. Por consiguiente, ambas dosificaciones serán consideradas en el análisis del comportamiento de las fibras. No obstante, es pertinente mencionar que el rendimiento del hormigón obtenido con la primera dosificación es significativamente menor.

Tabla 3.5: Número de muestras realizadas.

Tipo de elemento	Número de muestras	Técnica de refuerzo	Porcentaje de fibra
<b>Cilindros</b>	6	Ninguna	Ninguna
<b>Cilindros</b>	6	Fibras cortas	1.5%
<b>Vigas</b>	6	Ninguna	Ninguna
<b>Vigas</b>	6	Trenzado de fibras	-
<b>Vigas</b>	6	Fibras cortas	1.5%

Nota: Se detalla el tipo y número de elemento en función de la técnica de refuerzo.

- **Hormigón convencional:** Esta mezcla consistirá exclusivamente de cemento, agregados, arena, agua y aditivo. No se incluirá ningún tipo de fibra, se tomará como una muestra de control.
- **Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo:** En esta variante, se incorporarán fibras cortas de carrizo previamente tratadas, junto con un agente adherente para promover su unión con el hormigón. La composición será de cemento, arena, agregado grueso, agua, aditivo, fibras cortas tratadas y mezcladas con adherente.
- **Hormigón convencional y refuerzo con trenzados de fibras de carrizo:** Para este caso, se emplearán trenzados de fibras de carrizo, dispuestos en dos capas por viga: una en la parte inferior y otra en la parte superior. Se aplicará un recubrimiento de 3 cm en los costados de la viga y de 4 cm en las caras donde se coloca el trenzado de fibras.

La preparación integral de todos los materiales es fundamental antes de iniciar el proceso de fabricación de las muestras, dado que se trata de un procedimiento técnico que requiere adherencia estricta a pasos específicos para asegurar la calidad y consistencia del material.

Dentro de los parámetros necesarios para la producción, resulta fundamental el empleo de herramientas y equipos adecuados que cumplan con las normativas establecidas, como se detallan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: *Materiales empleados en la elaboración de mezclas.*

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
Probetas cilíndricas	Las probetas utilizadas deben tener una base de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, fabricadas en acero inoxidable, un material rígido, no absorbente y no reactivo con el cemento.
Encofrados para vigas	Los encofrados tendrán un ancho de 15 cm por un alto de 15 cm y un largo de 45 cm. Colocados y apoyados correctamente para evitar medidas erróneas.
Cemento	Cemento Holcim fuerte ecoplanet tipo GU y Cemento premium tipo HE
Arena	El agregado debe estar en un ambiente sin humedad, con una temperatura entre 20 y 30 grados Celsius.
Grava	El agregado debe estar en un ambiente sin humedad, con una temperatura entre 20 y 30 grados Celsius
Agua	Agua sin residuos, incolora, insípida e inodora
Aditivo	MasterGlenium aditivo superplastificante reductor de agua, a base de poli carboxilatos.
Herramientas menores	Se requieren diversos utensilios como brochas, carretillas, balanza, baldes y paletas de albañil.

Hormigonera	Será utilizada para combinar eficientemente cemento, arena, agua, aditivo y en nuestro caso también fibras de carrizo para producir hormigón.
Varilla compactadora de compactación	Se emplea una varilla rectilínea y lisa de acero con un diámetro de 1.6 cm y una longitud de 60 cm, con un extremo en forma de semiesfera, utilizada para penetrar y compactar la muestra de hormigón.
Vibrador de hormigón eléctrico	Se utiliza para consolidar y compactar el hormigón recién vertido en los moldes. Su uso garantiza la eliminación de posibles bolsas de aire atrapadas en la mezcla y la obtención de una distribución homogénea del material.
Flexómetro	Realizar medidas de control y colocación.
Fibras	Ciertas muestras se reforzarán con fibras de carrizo, aplicando distintas técnicas.

---

*Fuente:* Elaboración propia

### **3.8.1. Elaboración de cilindros.**

Para elaborar las muestras cilíndricas se emplearon dos mezclas de hormigón, un hormigón convencional y un hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.

Se subraya que la primera dosificación realizada, tanto para el hormigón convencional como para el hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo, se efectuó utilizando una concreteira automática en lugar de un método manual.

Para iniciar el procedimiento, es imperativo verificar que los moldes estén debidamente limpios y engrasados previamente, como se ilustra en la Figura 3.20, con el propósito de prevenir la adherencia de la mezcla al molde.



*Figura 3.20: Moldes cilíndricos metálicos para hormigón.*



*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se prepara la mezcla de hormigón siguiendo una proporción específica de cemento, agregados, agua y aditivo según las especificaciones trazadas en nuestro proyecto. La mezcla se debe realizar cuidadosamente para asegurar una distribución uniforme de los materiales y una adecuada trabajabilidad.

En la Figura 3.21 se muestra el equipo empleado para realizar la primera dosificación tanto del hormigón convencional como del hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo. Dado que se trata de un proceso automatizado, no se detalla, no obstante, la elaboración de las muestras se lleva a cabo de manera consistente para ambas dosificaciones.

*Figura 3.21: Concretera automática.*



*Fuente: Elaboración propia.*

- **Cilindros con hormigón convencional.** El hormigón convencional se selecciona como la primera opción de mezcla a preparar, principalmente por consideraciones prácticas y operativas.

Para iniciar el proceso, se procede con la verificación de la ausencia de impurezas o materiales extraños en la concretera. Posteriormente, se lleva a cabo la medición de los componentes conforme se van incorporando, tal como se observa en la Figura 3.22.

*Figura 3.22:* Proceso de dosificación de los materiales.



*Fuente:* Elaboración propia

El orden de adición de los materiales es el siguiente: en primer lugar, se introduce el agua y aditivo, seguido por la incorporación del ripio, cemento y arena como se detalla en la Figura 3.23.

*Figura 3.23:* Proceso de adición de los materiales.





*Fuente:* Elaboración propia

Una vez que todos los materiales se encuentran dentro de la concreteira, se procede a dejarlos por un lapso de tiempo hasta que se logre una mezcla homogénea. Con el fin de facilitar su manipulación, la mezcla obtenida se dispone en una carretilla, según se ilustra en la Figura 3.24.

*Figura 3.24:* Transferencia de la mezcla para facilitar el vertido.



*Fuente:* Elaboración propia

A continuación, se procede a verterla en los moldes de forma gradual y controlada por capas para evitar la segregación. Cada capa constituye un tercio del volumen del molde, seguido de la compactación mediante 25 golpes con una varilla de apisonado, como se evidencia en la Figura 3.25:

Figura 3.25: Proceso de vertido y compactación del hormigón.



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se compacta el hormigón, y emplearemos un vibrador eléctrico en la mezcla para asegurar una distribución uniforme del material. Para concluir el proceso, se procede a nivelar y alisar la superficie del cilindro hasta que quede completamente plana y uniforme.

Después de transcurridas 24 horas, los cilindros serán marcados con la fecha de fundición, las especificaciones de la mezcla y el número de muestra que representa dentro de dicho grupo, tal como se muestra en la Figura 3.26.

Figura 3.26: Cilindros marcados con su fecha de fundición y número dentro del grupo.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, los cilindros serán trasladados al tanque de curado como se muestra en la Figura 3.27, donde permanecerán hasta el momento en que se lleven a cabo los ensayos.

Figura 3.27: Colocación de cilindros en el tanque de curado.



Fuente: Elaboración propia

- **Cilindros con hormigón reforzado con fibras cortas.** Para la preparación de esta mezcla, se requiere llevar a cabo una operación de pesaje de las fibras que serán incorporadas, asegurando así la precisión de la proporción conforme al porcentaje predefinido. Las fibras a añadir se dispondrán en un recipiente, tal como se muestra en la Figura 3.28.

Figura 3.28: Fibras que se añadirán a la mezcla.



Fuente: Elaboración propia

El proceso se inicia con la introducción de las fibras en la mezcladora con el propósito de incorporarlas, tal como se muestra en la Figura 3.29.

*Figura 3.29: Incorporación de las fibras de carrizo a la mezcla.*



*Fuente: Elaboración propia*

Una vez finalizado este proceso, la mezcla se traslada a una carretilla con el fin de facilitar su manipulación. La Figura 3.30 muestra la disposición de las fibras dentro del hormigón.

*Figura 3.30: Hormigón con fibras cortas de carrizo.*



*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se repite el proceso previo de vertido por capas, empleando la varilla de apisonado y nivelando la superficie, tal como se muestra en la Figura 3.31.

Figura 3.31: Proceso de vertido, apisonado y enrasado de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia

Después de transcurridas 24 horas, los cilindros serán marcados con la fecha de fundición, las especificaciones de la mezcla y el número de muestra que representa dentro de dicho grupo, tal como se muestra en la Figura 3.32.

Figura 3.32: Cilindros con hormigón reforzado, marcados con su fecha de fundición y número dentro del grupo.



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, los cilindros serán trasladados al tanque de curado, donde permanecerán hasta el momento en que se lleven a cabo los ensayos.

### 3.8.2. Elaboración de vigas.

Para la elaboración de las vigas, se emplearon dos formulaciones de hormigón, cada una utiliza distintas técnicas de refuerzo:

- Hormigón convencional:
  - Hormigón convencional sin refuerzo (grupo de control).
  - Hormigón convencional reforzado con fibras de carrizo trenzadas.
- Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo, mezcladas directamente con el cemento, los agregados y el aditivo.

De igual manera, para la fabricación de las vigas destinadas a ser ensayadas a los 7 días, se utilizaron dos dosificaciones distintas. Al elaborar las vigas reforzadas con la primera formulación, es relevante señalar que las fibras trenzadas no fueron sometidas a un proceso de “raspado”, lo que resultó en una menor fragilidad de las mismas.

Para iniciar el proceso, es crucial verificar la correcta colocación de los moldes como se muestra en la Figura 3.33, asegurando que cumplan con las dimensiones previstas, así como garantizar que estén limpios y previamente engrasados para prevenir la adherencia de la mezcla al molde.

*Figura 3.33: Colocación del encofrado.*



*Fuente: Elaboración propia*

En el caso de este proyecto, con el fin de optimizar el vertido de las mezclas, los moldes fueron dispuestos de manera secuencial como se observa en la Figura 3.34. Antes de



comenzar la mezcla del hormigón se definió el orden en el que se realizarán los distintos tipos de vigas para evitar errores.

*Figura 3.34:* Distribución de encofrados.



*Fuente:* Elaboración propia

A continuación, se realiza la mezcla para cada tipo de viga:

- **Vigas con hormigón convencional.** Esta será la primera mezcla en prepararse y colocarse. La mezcla se transfiere a una carretilla para mayor facilidad y se debe verter por capas para asegurarnos que sea homogénea como se muestra en la Figura 3.35.

*Figura 3.35:* Elaboración de vigas con hormigón convencional.



*Fuente:* Elaboración propia

Cuando se complete el proceso de llenado, se golpea el molde a los costados como se observa en la Figura 3.36 para evitar vacíos de aire en la mezcla, luego se utilizará un vibrador eléctrico para hormigón y se enrasa la superficie.

Figura 3.36: Distribución de la mezcla para evitar vacíos.



Fuente: Elaboración propia

Luego de 24 horas las vigas se marcarán con la fecha de fundido, la característica de la mezcla y el número de muestra que representa en ese grupo como se muestra en la Figura 3.37.

Figura 3.37: Vigas con hormigón convencional, marcados con su fecha de fundición y número dentro del grupo.



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, las vigas serán trasladadas al tanque de curado como se muestra en la Figura 3.38, donde permanecerán hasta el momento en que se lleven a cabo los ensayos.

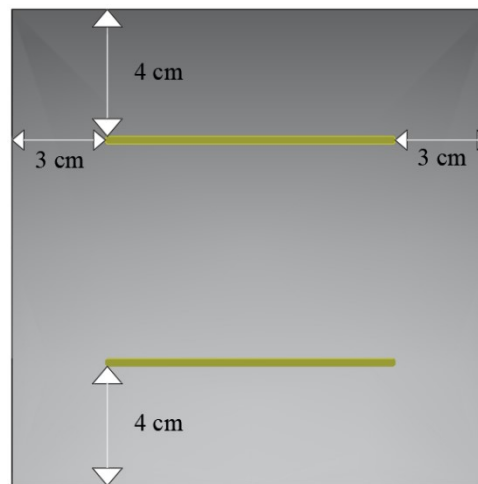
Figura 3.38: Vigas colocadas en el tanque de curado.



Fuente: Elaboración propia

- **Vigas con hormigón convencional, reforzadas con fibras de carrizo trenzadas.** Para la fabricación de estas vigas, se inicia con una mezcla de hormigón convencional a la cual se le añaden los trenzados al momento de verterla. Se colocarán en la parte inferior y superior de la viga con un recubrimiento, tal como que se muestra en la Figura 3.39, el objetivo será asegurar un mejor resultado al momento de realizar los ensayos.

*Figura 3.39:* Recubrimiento de las vigas reforzadas con fibras de carrizo trenzadas.



*Fuente:* Elaboración propia

Al momento de realizar las muestras, se verificará que la posición de los trenzados cumpla con los valores establecidos, utilizamos un flexómetro como se observa en la Figura 3.40.

*Figura 3.40:* Colocación de las fibras trenzadas, cumpliendo con el recubrimiento.



*Fuente:* Elaboración propia

Luego se seguirá agregando mezcla en los moldes, hasta cumplir el ultimo valor de recubrimiento, se coloca la fibra trenzada superior y se continúa relleno la muestra cómo se observa en la Figura 3.41.

*Figura 3.41:* Vertido de hormigón sobre las fibras.



*Fuente:* Elaboración propia.

Una vez completado el vertido, se golpeará a los costados de las vigas para eliminar vacíos de aire en la mezcla. Posteriormente, se aplicará un vibrador eléctrico para hormigón y se nivelará la superficie tal como se muestra en la Figura 3.42.

*Figura 3.42:* Enrasado de las muestras.



*Fuente:* Elaboración propia.

Después de un período de 24 horas, las vigas serán marcadas con la fecha de fundición, la característica de la mezcla y el número de muestra que representa en ese grupo como se muestra en la Figura 3.43.

*Figura 3.43:* Vigas con hormigón convencional, reforzada con fibras trenzadas de carrizo marcadas con su fecha de fundición y número dentro del grupo.



*Fuente:* Elaboración propia.

Posteriormente, las vigas serán trasladadas al tanque de curado como se muestra en la Figura 3.44, donde permanecerán hasta el momento en que se lleven a cabo los ensayos.

*Figura 3.44:* Vigas con hormigón convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo, colocadas en el tanque de curado.



*Fuente:* Elaboración propia

- **Vigas con hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.** Para la fabricación de estas vigas se inicia incorporando en la mezcladora las fibras cortas, las cuales previamente fueron pesadas, según se ilustra en la Figura 3.45.

Figura 3.45: Carrizo incorporado en la hormigonera.



Fuente: Elaboración propia.

Se procederá a llenar los moldes en capas sucesivas con el fin de garantizar la adecuada colocación de la mezcla, como se muestra en la Figura 3.46.

Figura 3.46: Vertido de la mezcla por capas.



Fuente: Elaboración propia

Una vez completado el vertido, se golpearán los costados de las vigas para eliminar posibles vacíos de aire en la mezcla. Posteriormente, se aplicará un vibrador eléctrico para hormigón y se nivelará la superficie. El proceso realizado se puede observar en la Figura 3.47.

Figura 3.47: Proceso de vibrado y enrasado del hormigón reforzado con fibras cortas.



Fuente: Elaboración propia.

Después de un período de 24 horas, las vigas serán marcadas con la fecha de fundición, las características de la mezcla y el número de muestra que representa en el grupo, según se muestra en la Figura 3.48.

Figura 3.48: Vigas con hormigón convencional, reforzada con fibras cortas de carrizo marcadas con su fecha de fundición y número dentro del grupo.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se desencofrarán las vigas como se muestra en la Figura 3.49 y serán trasladadas al tanque de curado, donde permanecerán hasta el momento en que se lleven a cabo los ensayos.

Figura 3.49: Desencofrado de vigas.



Fuente: Elaboración propia

### 3.9. Ensayos

#### 3.9.1. Ensayos del hormigón fresco

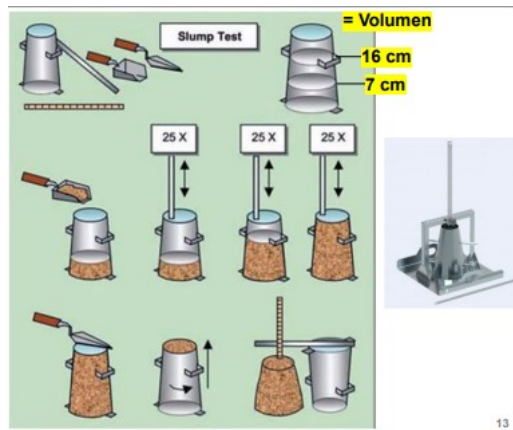
- **Determinación de la consistencia del hormigón:** Utilizaremos el ensayo de asentamiento utilizando el tronco de cono, conocido como cono de Abrams, que se observa en la Figura 3.50. Este ensayo, reconocido por su simplicidad y confiabilidad, nos permite evaluar la consistencia del hormigón en su estado fresco, prescindiendo de utilizar equipos costosos o personal especializado, al tiempo que proporciona resultados satisfactorios.

El ensayo se realiza utilizando un cono con dimensiones estandarizadas de 20 cm de diámetro en la base, 10 cm de diámetro en la parte superior y 30 cm de altura. El cono se coloca sobre una superficie plana y previamente humedecida. A continuación, se procede a llenar el cono en tercios iguales de su volumen, compactando cada tercio mediante la aplicación de 25 golpes con una barra de compactación antes de verter el siguiente tercio.

Una vez completado el llenado del cono, se retira el exceso de hormigón con una regla metálica, y se extrae rápidamente el molde, midiendo el asentamiento presentado por la mezcla de hormigón.



Figura 3.50: Asentamiento del Cono de Abrams



Fuente: (Torrent, 2020)

✓ **Procedimiento.** Este ensayo se llevó a cabo utilizando dos formulaciones de hormigón diferentes: una consiste en hormigón convencional y la otra en hormigón reforzado mediante la adición de fibras cortas de carrizo.

Los materiales empleados en ambos procesos se especifican en la Tabla 3.7:

Tabla 3.7: Materiales utilizados para determinar la consistencia del hormigón.

Materiales	Descripción
Hormigón	Componente esencial del ensayo.
Cono de Abrams	Instrumento de medida estándar utilizado para determinar la consistencia del hormigón en estado fresco.
Base para sostener el cono	Superficie estable y nivelada donde se colocará el cono de Abrams durante el ensayo.

Varilla de compactación

Herramienta utilizada para compactar el hormigón dentro del cono y eliminar posibles vacíos de aire.

Flexómetro

herramienta de medición utilizada para tomar la lectura del asentamiento del hormigón dentro del cono de Abrams.

---

*Fuente:* Elaboración propia.

Este procedimiento se lleva a cabo antes de la fabricación de las muestras. Por consiguiente, una vez se haya obtenido cada variante de mezcla de hormigón se iniciará este ensayo.

- ***Hormigón convencional.*** Resulta imperativo mencionar que, al tratarse de la primera mezcla en ser elaborada, se registrará inicialmente este valor de asentamiento.

El procedimiento, tal como se ilustra en la Figura 3.51, se inicia mediante el llenado gradual del cono por capas, seguido por la compactación individual de cada capa y finalizando con la nivelación de la mezcla, como se ha detallado previamente.

*Figura 3.51: Ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrams.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 3.52, el asentamiento fue de 3.11"

Figura 3.52: Asentamiento del hormigón convencional.



Fuente: Elaboración propia

- **Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.** La elaboración de esta mezcla se llevará a cabo al final, la razón es que las fibras deben ser incorporadas directamente en la mezcladora.

El proceso de este ensayo, tal como se muestra en la Figura 3.53, comienza con el llenado gradual del cono en 3 capas, seguido por la compactación individual de cada capa y concluyendo con la nivelación de la mezcla, como se ha detallado anteriormente.

Figura 3.53: Ensayo de asentamiento del hormigón reforzado con fibras cortas, utilizando el cono de Abram



Fuente: Elaboración propia

El valor de asentamiento obtenido para este tipo de hormigón es de 3.14", tal como se visualiza en la Figura 3.54.

Figura 3.54: Asentamiento del hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.



Fuente: Elaboración propia

### 3.9.2. Ensayos del hormigón endurecido

- **Ensayo para determinar la resistencia a compresión.** La resistencia a compresión, que se expresa como  $f'_c$ , constituye un indicador para evaluar la calidad que tiene el hormigón. Los valores obtenidos dependen de diversos factores, como la forma y tamaño del cilindro, el tipo de mezcla, proceso de mezclado, temperatura, condiciones de humedad, entre otros.

Según la normativa (ASTM C-39, 2021), es imperativo que la máquina de ensayo esté calibrada al menos una vez al año y tenga capacidad suficiente para realizar las pruebas. Además, nos permitirá verificar la velocidad a la que se aplique la carga. El porcentaje de error para las cargas dentro del rango de uso propuesto para la máquina no debe exceder  $\pm 1.0\%$  de la carga indicada.

Los cilindros de hormigón según la norma (ASTM C-39, 2021), pueden tener medidas de 15 cm de diámetro x 30 cm de longitud o 10 cm de diámetro x 20 cm de largo, aunque otras medidas son permitidas mientras cumplan con la relación Longitud/Diámetro = 2.

Durante el ensayo, menciona que se aplicará una carga de compresión uniaxial a los cilindros con una velocidad de carga específica ( $0.25 \pm 0.05$  MPa/s) que debe aplicarse de manera continua y sin impacto.

Es esencial que las muestras a ensayar estén curadas en condiciones de humedad constante entre el 95% - 100% ya sea en piletas de inmersión o cámaras de curado, también deben estar húmedas durante el ensayo.

Las muestras se romperán dentro de los límites de tolerancia establecidos en la Tabla 3.8:

Tabla 3.8: *Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes.*

<b>Edad de ensayo</b>	<b>Tolerancia admisible</b>
24 horas	$\pm 0,5$ h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

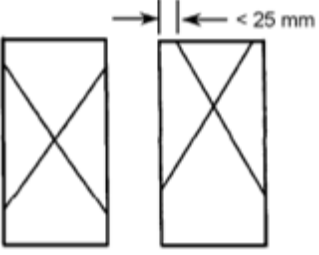
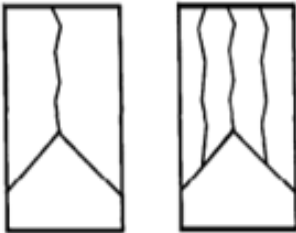


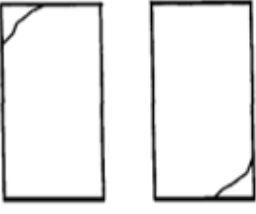

*Fuente: (ASTM C-39, 2021)*

En los ensayos, la velocidad de aplicación de la carga debe mantenerse dentro de los límites establecidos, y esta carga debe ser aplicada de manera continua hasta que se confirme que se ha alcanzado la máxima carga y el indicador de carga advierta una disminución constante.

Durante la ejecución del ensayo, es posible que, al emplear almohadillas no adherentes de neopreno, se presentan despostillamientos en los extremos de las cabezas de la muestra. Sin embargo, este fenómeno no implica que el cilindro haya experimentado un fallo, por lo que se recomienda continuar aplicando la carga hasta alcanzar el valor máximo de carga. (ASTM C-39, 2021)

Los tipos de fractura que se pueden obtener en los cilindros de hormigón cuya relación diámetro/longitud = 2, se muestran en la Figura 3.55.

Figura 3.55: Esquema de los modelos típicos de fractura

		
<p style="text-align: center;"><b>Tipo 1</b></p> <p>Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm</p>	<p style="text-align: center;"><b>Tipo 2</b></p> <p>Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Tipo 3</b></p> <p>Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.</p>
		
<p style="text-align: center;"><b>Tipo 4</b></p> <p>Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Tipo 5</b></p> <p>Fracturas a los lados, en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con neoprenos)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Tipo 6</b></p> <p>Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta</p>

Fuente: (NTE INEN 1573, 2010)

- ✓ **Procedimiento:** Para realizar este ensayo, primero se han definido las medidas de diseño para los cilindros, las cuales son: 15 cm diámetro y 30 cm longitud. Para realizar este ensayo tendremos los siguientes números de muestras, como indica la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Número de muestras para el ensayo.

% Fibras	Ensayo a los: 7 días	Ensayo a los: 14 días
0% (control)	4	2
1%	4	2

Nota: El número de muestras depende del porcentaje de fibras que se añadirá a la mezcla.

Para llevar a cabo este ensayo para el presente proyecto, se procederá a seleccionar las muestras pertinentes de acuerdo con el día específico en que se realice la prueba. Para los ensayos realizados a los 7 días, se utilizarán las muestras 1 y 2, mientras que, para los ensayos efectuados a los 14 días, se emplearán las muestras 3 y 4 de cada tipo de hormigón.

Después de extraer las probetas del tanque de curado, estas son trasladadas al laboratorio para su sometimiento al ensayo, tal como se muestra en la Figura 3.56.

*Figura 3.56: Cilindros para ensayos a compresión.*



*Fuente: Elaboración propia*

Como paso inicial, se efectúan tres mediciones de diferentes lados tanto en altura como en diámetro de cada cilindro, con el propósito de obtener un promedio que asegure una medida más precisa. De igual forma, se procede a determinar el peso de los cilindros, detallándose estos valores.

Este procedimiento resulta imperativo dado que la máquina de ensayo a compresión requiere como entrada los valores de altura y diámetro de cada muestra.

Los datos referentes a las mediciones de los cilindros que serán sujetos a ensayo a los 7 días se presentan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Medidas y peso de las muestras cilíndricas tomadas en el laboratorio a los 7 días.

# Muestra	Tipo de muestra	Diámetro cm	Promedio cm	Altura cm	Promedio cm	Peso gramos
1	Cilindro de	15.20		30.5		
	hormigón	15.30	15.23	30.52	30.51	13337
	convencional	15.20		30.5		
2	Cilindro de	15.10		30		
	hormigón	15.26	15.19	29.9	29.97	13149
	convencional	15.20		30		
3	Cilindro de	14.97		30.1		
	hormigón	15.1	15.16	30.1	30.09	12492
	reforzado con F.C.	15.42		30.06		
4	Cilindro de	15.13		30		
	hormigón	15.06	15.10	30.06	30.01	12650
	reforzado con F.C.	15.10		29.96		

Fuente: Elaboración propia.

Los datos referentes a las mediciones de los cilindros que serán sujetos a ensayo a los 14 días se presentan en la Tabla 3.11.



Tabla 3.11: Medidas y peso de las muestras cilíndricas tomadas en el laboratorio a los 14 días.

# Muestra	Tipo de muestra	Altura cm	Promedio cm	Diámetro cm	Promedio cm	Peso gramos
1	Cilindro de	14.90		30.40		
	hormigón	15.20	15.03	30.40	30.47	13258
	convencional	15		30.60		
2	Cilindro de	15		30.30		
	hormigón	15	15	30.10	30.20	12958
	convencional	15		30.20		
3	Cilindro de	15		30		
	hormigón	14.90	14.93	30	30	12339
	reforzado con F.C.	14.90		30		
4	Cilindro de	15		29.60		
	hormigón	15	15	29.60	29.50	12551
	reforzado con F.C.	15		29.30		

*Fuente:* Elaboración propia.

Una vez completado este proceso previo, se dispone la colocación de almohadillas de neopreno en los cilindros, para posteriormente introducirlos en la máquina y asegurar su correcto posicionamiento. A continuación, se ingresan los valores solicitados por la máquina y se da inicio.

El ensayo se inicia aplicando una carga inicial mínima, con el propósito de eliminar cualquier espacio libre entre las almohadillas y la muestra. Posteriormente, la carga se incrementa de manera continua y uniforme, conforme a una velocidad predefinida, hasta que la muestra alcanza su punto de fractura. Al concluir el procedimiento, se registra la carga máxima aplicada.

La determinación de la resistencia a compresión se obtiene dividiendo la carga máxima soportada por la muestra entre el área de su sección transversal original como se muestra en la Ecuación 3.2. Este valor se expresa en Kg/cm<sup>2</sup>, y representa la capacidad máxima del material para resistir fuerzas de compresión.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$f'c$  = Resistencia a compresión.

P = Carga máxima soportada durante el ensayo.

A = Área promedio de la sección transversal.

Los datos referentes a las áreas calculadas de los cilindros que serán sujetos a ensayo a los 7 días se presentan en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12: Áreas calculadas de las muestras cilíndricas a los 7 días.

# de muestra	Tipo de cilindro	Área (cm <sup>2</sup> )
1	Cilindro de hormigón convencional	182.18
2	Cilindro de hormigón convencional	181.22
3	Cilindro de hormigón reforzado con F.C.	180.50

4	Cilindro de hormigón reforzado con F.C.	179.08
---	--	--------

*Fuente:* Elaboración propia.

Los datos referentes a las áreas calculadas de los cilindros que serán sujetos a ensayo a los 14 días se presentan en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13: *Áreas calculadas de las muestras cilíndricas a los 14 días.*

# de muestra	Tipo de cilindro	Área (cm <sup>2</sup> )
1	Cilindro de hormigón convencional	177.42
2	Cilindro de hormigón convencional	176.71
3	Cilindro de hormigón reforzado con F.C.	175.07
4	Cilindro de hormigón reforzado con F.C.	176.71

*Fuente:* Elaboración propia.

- **Hormigón convencional.** Después de extraer las muestras del tanque de curado, los cilindros serán transportados al laboratorio designado para llevar a cabo los ensayos. Una vez que se hayan introducido las medidas necesarias en la máquina, se procederá a iniciar el ensayo aplicando la carga sobre el cilindro. El ensayo concluirá cuando la muestra falle y se registrarán los valores obtenidos.

**Ensayos realizados luego de 7 días:** Las cargas máximas soportadas por las muestras cilíndricas #1 y #2, se muestran en la Figura 3.57 y Figura 3.58.

Figura 3.57: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón convencional #1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.58: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón convencional #2.



Fuente: Elaboración propia.

**Ensayos realizados luego de 14 días:** Las cargas máximas soportadas por las muestras cilíndricas #3 y #4, se muestran en la Figura 3.59 y Figura 3.60.

Figura 3.59: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón convencional #3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.60: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón convencional #4.



Fuente: Elaboración propia.

- **Hormigón reforzado con fibras cortas.** Una vez que se hayan introducido las medidas necesarias en la máquina, se procederá a iniciar el ensayo aplicando la carga sobre el cilindro. El ensayo concluirá cuando la muestra falle y se registrarán los valores obtenidos:

**Ensayos realizados luego de 7 días:** Las cargas máximas soportadas por las muestras cilíndricas #1 y #2, se muestran en la Figura 3.61 y Figura 3.62.

Figura 3.61: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón reforzado con fibras cortas #1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.62: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón reforzado con fibras cortas #2.



Fuente: Elaboración propia.

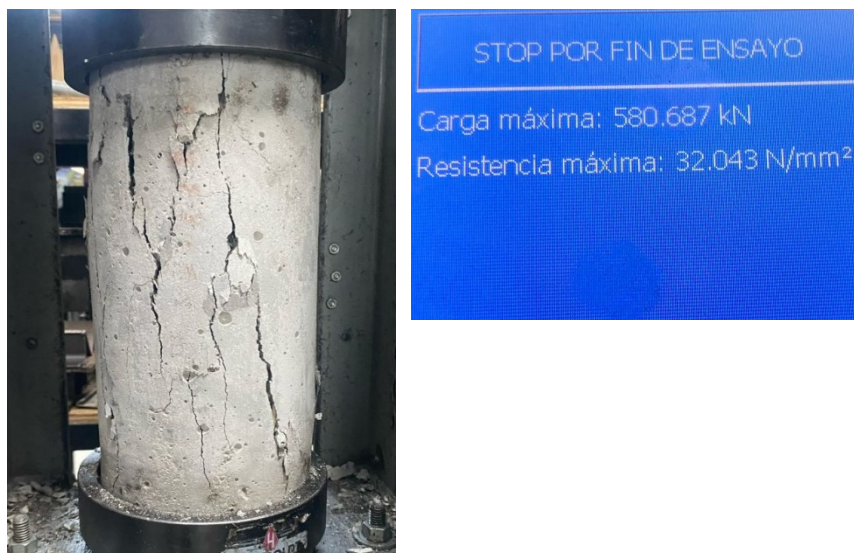
**Ensayos realizados luego de 14 días:** Las cargas máximas soportadas por las muestras cilíndricas #3 y #4, se muestran en la Figura 3.63 y Figura 3.64.

Figura 3.63: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón reforzado con fibras cortas #3.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.64: Carga máxima soportada por la muestra cilíndrica de hormigón reforzado con fibras cortas #4.

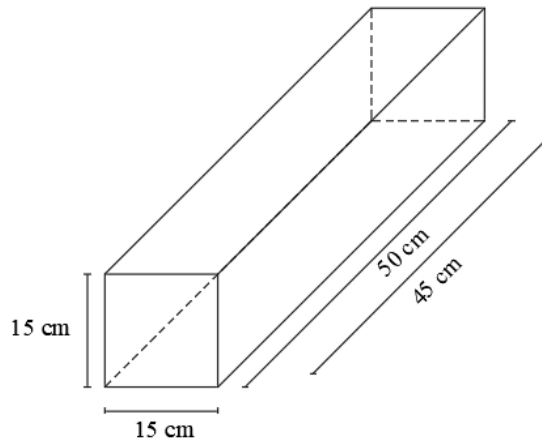


Fuente: Elaboración propia.

- **Ensayo resistencia a la tracción.** La determinación de la resistencia a la tracción en el hormigón se lleva a cabo mediante la prueba de flexión, utilizando una viga simple con carga aplicada en los tercios. Los resultados obtenidos se calculan y expresan como el módulo de rotura.

Las vigas sujetas a ensayo deben cumplir con ciertas especificaciones, incluyendo una sección transversal de 15x15 cm y una longitud de ensayo que sea al menos tres veces su peralte, como se muestra en la Figura 3.65.

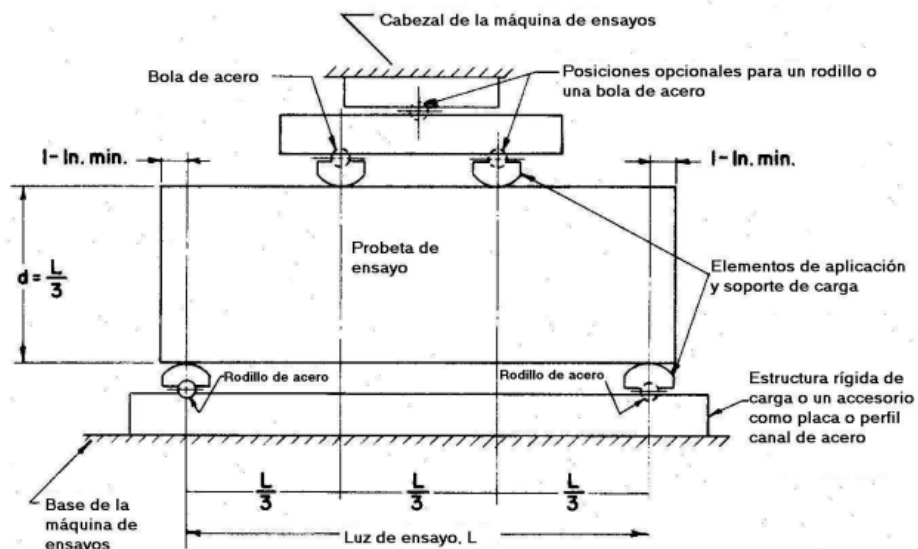
Figura 3.65: Dimensiones para una viga de ensayo definidas por la NTE INEN 2554.



Fuente: Elaboración propia

El dispositivo utilizado para aplicar la carga debe utilizar bloques de soporte para garantizar que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a su superficie y se apliquen sin excentricidad, conforme se ilustra en la Figura 3.66. Además, el equipo de ensayo debe ser capaz de mantener la luz de ensayo especificada.

Figura 3.66: Diagrama de un aparato adecuado para realizar ensayos a la flexión de vigas de hormigón mediante el método de carga en los tercios.



Fuente: Elaboración propia



La carga aplicada a la viga debe ser continua y sin impactos, con una velocidad constante hasta que se alcance el punto de rotura. Esta carga se aplica a una velocidad que aumenta constantemente la tensión en las fibras extremas, con un rango entre 0,86 y 1,21 MPa/min. La velocidad de carga se determina mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{Sbd^2}{L} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$r$  = Velocidad de carga, MPa/min.

$S$  = Velocidad del incremento del esfuerzo máximo sobre la cara de tracción, MPa/min.

$b$  = Promedio del ancho del espécimen, según la orientación en el ensayo, mm.

$d$  = Promedio de la altura del espécimen, según la orientación en el ensayo, mm.

$L$  = Luz libre de la viga, mm.

Si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, el módulo de rotura se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$M_r = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$M_r$  = Módulo de rotura, MPa.

$P$  = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos, N.

$L$  = Luz libre de la viga, mm.

$b$  = Promedio del ancho del espécimen, según la orientación en el ensayo, mm.

$d$  = Promedio de la altura del espécimen, según la orientación en el ensayo, mm.

Si la fractura ocurre en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz entre apoyos, pero a una distancia menor al 5% de la luz libre, el módulo de rotura se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_r = \frac{3Pa}{bd^2} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más próximo, medida sobre la superficie a tensión, mm.

Si la fractura ocurre en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la longitud entre apoyos, y la distancia excede el 5% de la luz libre, el resultado del ensayo se descarta.

(ASTM C 78-02, 2022)

- ✓ **Procedimiento.** El primer paso consiste en calcular la velocidad de carga, la cual se muestra a continuación en la Tabla 3.14:

Tabla 3.14: *Cálculo de la velocidad de carga para el ensayo.*

S =	0.86	1.21	MPa/min
b =	150	150	mm
d =	150	150	Mm
L =	450	450	Mm
r =	6450	9075	N/min
Promedio	7762.5		N/min
Utilizada	8000		N/min

*Nota:* La velocidad promedio se redondea al superior al requerirse una velocidad con calor entero

Posteriormente, una vez extraídas las vigas del tanque de curado, estas serán transportadas al laboratorio tal como se muestra en la Figura 3.67, con el fin de llevar a cabo los ensayos correspondientes.



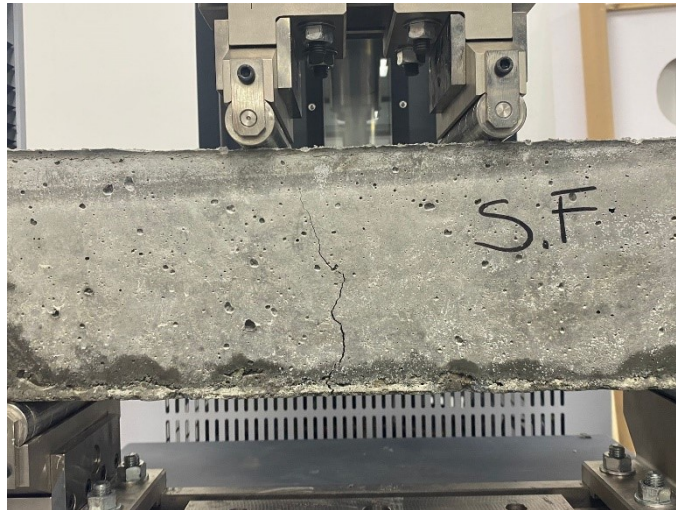
- ***Vigas de hormigón convencional.*** Después de extraer las muestras del tanque de curado, las serán transportados al laboratorio designado para llevar a cabo los ensayos.

La viga debe ser colocada con precisión de tal manera que la luz de ensayo sea exactamente 45 cm. Además, es imperativo asegurar que los puntos de apoyo se encuentren situados en los extremos del tercio central de la muestra, manteniendo entre ellos una separación de 15 cm.

El ensayo concluirá cuando la muestra falle y posteriormente se registrarán los valores obtenidos y las gráficas especificadas al ingresar los datos.

***Ensayos realizados luego de 7 días:*** En la Figura 3.69 se puede observar una de las vigas sometida al ensayo.

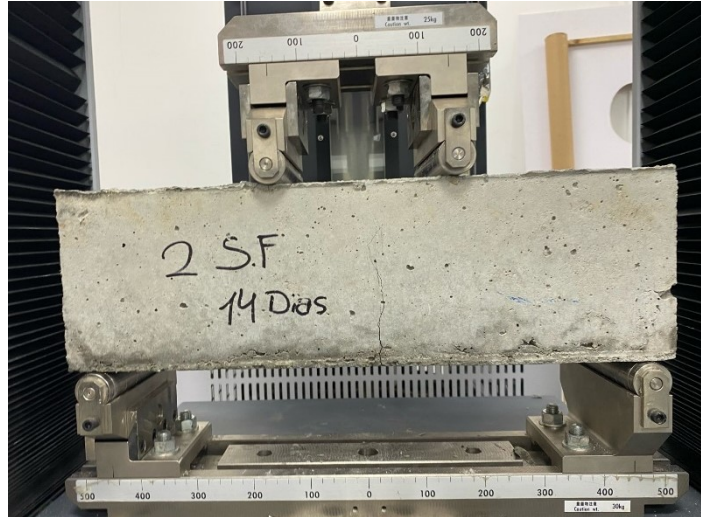
*Figura 3.69: Viga de hormigón convencional sometida a flexión luego de 7 días.*



*Fuente: Elaboración propia*

***Ensayos realizados luego de 14 días:*** En la Figura 3.70 se puede observar una de las vigas sometida al ensayo.

Figura 3.70: Viga de hormigón convencional sometida a flexión luego de 14 días.

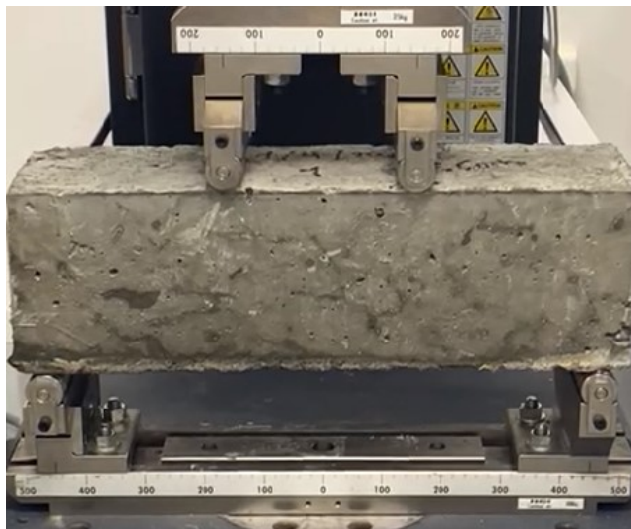


Fuente: Elaboración propia.

- **Vigas de hormigón reforzado con fibras cortas.** La viga debe ser colocada con precisión de tal manera que la luz de ensayo sea exactamente 45 cm. Además, es imperativo asegurar que los puntos de apoyo se encuentren situados en los extremos del tercio central de la muestra, manteniendo entre ellos una separación de 15 cm. El ensayo concluirá cuando la muestra falle, posteriormente se registrarán los valores obtenidos y las gráficas especificadas al ingresar los datos.

**Ensayos realizados luego de 7 días:** En la Figura 3.71 se puede observar una de las vigas sometida al ensayo.

Figura 3.71: Viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo sometidas a flexión luego de 7 días.



Fuente: Elaboración propia.

**Ensayos realizados luego de 14 días:** En la Figura 3.72 se puede observar una de las vigas sometida al ensayo.

*Figura 3.72:* Viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo sometidas a flexión luego de 14 días.

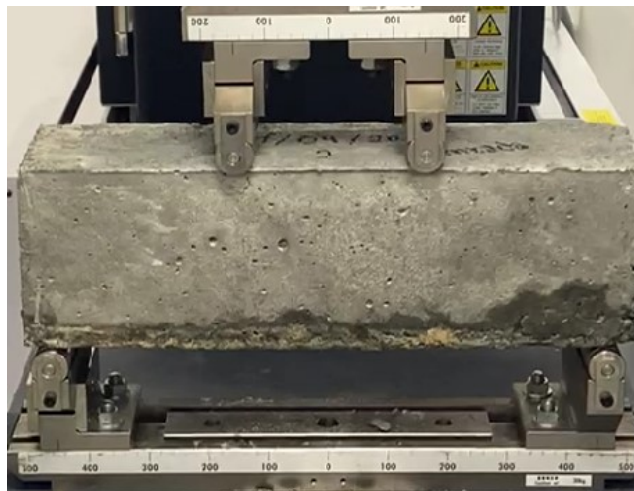


*Fuente:* Elaboración propia.

- **Vigas de hormigón convencional, reforzadas con fibras trenzadas.** La viga debe ser colocada con precisión de tal manera que la luz de ensayo sea exactamente 45 cm. Además, es imperativo asegurar que los puntos de apoyo se encuentren situados en los extremos del tercio central de la muestra, manteniendo entre ellos una separación de 15 cm. El ensayo concluirá cuando la muestra falle.

**Ensayos realizados luego de 7 días:** En la Figura 3.73 se puede observar una de las vigas sometida al ensayo.

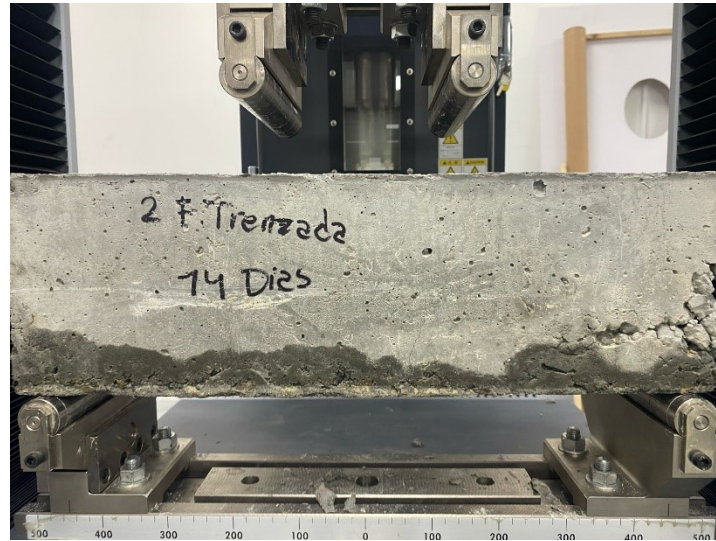
*Figura 3.73:* Viga de hormigón reforzada con fibras trenzadas de carrizo sometidas a flexión luego de 7 días.



*Fuente:* Elaboración propia.

**Ensayos realizados luego de 14 días:** En la Figura 3.74 se puede observar una de las vigas sometida al ensayo.

*Figura 3.74:* Viga de hormigón reforzada con fibras trenzadas de carrizo sometidas a flexión luego de 14 días.



*Fuente:* Elaboración propia.

## 4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Dosificación

La dosificación será especificada con base en la cantidad necesaria para cada conjunto de muestras y su respectivo volumen. El objetivo de este procedimiento es precisar la cantidad exacta de fibras cortas de carrizo utilizado.

Durante la elaboración de las muestras, al ser un proceso manual, se determinó anticipadamente la cantidad requerida de fibras y se llevó a cabo un pesaje en sitio para corroborar dicha cantidad.

- ***Hormigón convencional.***

En la Tabla 4.1 y Tabla 4.2 se presentan los detalles de la primera dosificación efectuada para cilindros y vigas respectivamente, la cual presentó ciertos errores. Por consiguiente, únicamente se sometieron a ensayo a los 7 días con el objetivo de evaluar el comportamiento de las fibras en un hormigón de baja resistencia.

Tabla 4.1: *Primera dosificación de hormigón convencional para muestras cilíndricas.*

Primera Dosificación				
Elemento	Volumen: probeta cilíndrica. D = 0,15 m h = 0,30 m	Número de probetas	Volumen total (m <sup>3</sup> )	Dosificación en peso (kg)
Agua				125
Aditivo				
Cemento	0,0053	2 unidades	0,0106	50
Arena				100
Ripio				150

*Fuente:* Elaboración propia.



Tabla 4.2: Primera dosificación de hormigón convencional para vigas.

Primera Dosificación				
Elemento	Volumen: Viga L = 0,45 m h = 0,15 m a = 0,15 m	Número de probetas	Volumen total (m3)	Dosificación en peso (kg)
Agua				125
Aditivo				
Cemento	0,010125	4 unidades	0,0405	50
Arena				100
Ripio				150

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.3 y Tabla 4.4 se detalla la segunda dosificación efectuada, en la que se utilizó un cemento premium tipo HE, con el propósito de alcanzar resistencias iniciales más altas. Además, es relevante destacar que esta dosificación presenta una proporción adecuada de áridos gruesos y cemento en comparación de la primera.

Tabla 4.3: Segunda dosificación de hormigón convencional para muestras cilíndricas.

Segunda Dosificación				
Elemento	Volumen: probeta cilíndrica. D = 0,15 m h = 0,30 m	Número de probetas	Volumen total (m3)	Dosificación en peso (kg)
Agua				4,08
Aditivo				0,08
Cemento	0,0053	4 unidades	0,0212	10,92
Arena				21,84
Ripio				26,20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4: Segunda dosificación de hormigón convencional para vigas.

Segunda Dosificación				
Elemento	Volumen: Viga L = 0,5 m h = 0,15 m a = 0,15 m	Número de probetas	Volumen total (m3)	Dosificación en peso (kg)
Agua				17,28
Aditivo				0,336
Cemento	0,01125	8 unidades	0,090	46,32
Arena				92,72
Ripio				111,28

Fuente: Elaboración propia.

- **Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.**

En la primera y segunda dosificación, la inclusión de fibras se efectuó basándose en el peso total de la mezcla. La primera dosificación de hormigón con un refuerzo de fibras cortas de carrizo para cilindros y vigas, se muestra en la Tabla 4.5 y Tabla 4.6.

Tabla 4.5: Primera dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo para muestras cilíndricas.

Primera Dosificación				
Elemento	Volumen: probeta cilíndrica. D = 0,15 m h = 0,30 m	Número de probetas	Volumen total (m3)	Dosificación en peso (kg)
Agua				125
Aditivo				
Cemento	0,0053	2 unidades	0,0106	50
Arena				100
Ripio				150
Fibra				111

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6: Primera dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo para vigas.

Primera Dosificación				
Elemento	Volumen: Viga L = 0,45 m h = 0,15 m a = 0,15 m	Número de probetas	Volumen total (m3)	Dosificación en peso (kg)
				125
Aditivo				
Cemento	0,010125	2 unidades	0,02025	50
Arena				100
Ripio				150
Fibra				

Fuente: Elaboración propia.

La segunda dosificación de hormigón con un refuerzo de fibras cortas de carrizo para cilindros y vigas, se muestra en la Tabla 4.7 y Tabla 4.8.

Tabla 4.7: Segunda dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo para muestras cilíndricas.

Segunda Dosificación				
Elemento	Volumen: probeta cilíndrica. D = 0,15 m h = 0,30 m	Número de probetas	Volumen total (m3)	Dosificación en peso (kg)
Agua				4,08
Aditivo				0,08
Cemento	0,0053	4 unidades	0,0212	10,92
Arena				21,84
Ripio				26,20
Fibra 1.5%				0,9456

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8: Segunda dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo para vigas.

Segunda Dosificación				
Elemento	Volumen: Viga L = 0,5 m h = 0,15 m a = 0,15 m	Número de probetas	Volumen total (m3)	Dosificación en peso (kg)
Agua				8,64
Aditivo				0,168
Cemento				23,16
Arena	0,01125	4 unidades	0,045	46,36
Ripio				55,64
Fibra 1.5%				2,007

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.Comparación del Slump

La consistencia de la mezcla solo se ve afectada considerablemente por la adición de las fibras en la primera dosificación como se muestra en la Tabla 4.9, ya que esta dosificación era pobre en áridos gruesos.

Tabla 4.9: Medición del asentamiento.

Descripción	Asentamiento medido (pulgadas)			
	Dosificación #1	Trabajabilidad	Dosificación #2	Trabajabilidad
Hormigón convencional	4,84''	Muy trabajable	3,11''	Trabajable
Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo	3,15''	Trabajable	3,14''	Trabajable

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.Resultados: Ensayo de resistencia a la compresión

Al transcurrir los 7 y 14 días desde el proceso de fundición, se realizaron ensayos de compresión a los cilindros. La descripción de los elementos que fueron ensayados se muestra a continuación.

**Hormigón convencional:** se tomaron los datos de las 4 muestras de control como se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10: Descripción y toma de datos de las muestras cilíndricas.

#Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	01/04/2024	08/04/2024	7	15	30
2	01/04/2024	08/04/2024	7	15	30
3	01/04/2024	15/04/2024	14	15	30
4	01/04/2024	15/04/2024	14	15	30

Fuente: Elaboración propia.

**Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo:** se tomaron los datos de las 4 muestras como se muestran en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Descripción y toma de datos de las muestras cilíndricas con hormigón reforzado.

#Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	01/04/2024	08/04/2024	7	15	30
2	01/04/2024	08/04/2024	7	15	30
3	01/04/2024	15/04/2024	14	15	30
4	01/04/2024	15/04/2024	14	15	30

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 4.12 y Tabla 4.13, las cuales representan los dos tipos de mezclas desarrollados. En estas tablas se observan los resultados de esfuerzo a compresión en unidades de Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 4.12: Resultado del Esfuerzo a compresión en unidades Kg/cm<sup>2</sup>, a los 7 días.

# Muestra	Descripción	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	Control	182.18	79581.49	436.83
2	Control	181.22	79128.02	436.64
	Hormigón			
1	reforzado con fibras de carrizo	180.50	49006.33	271.50
	Hormigón			
2	reforzado con fibras de carrizo	179.08	47942.66	267.72

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.13: Resultado del Esfuerzo a compresión en unidades Kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días.

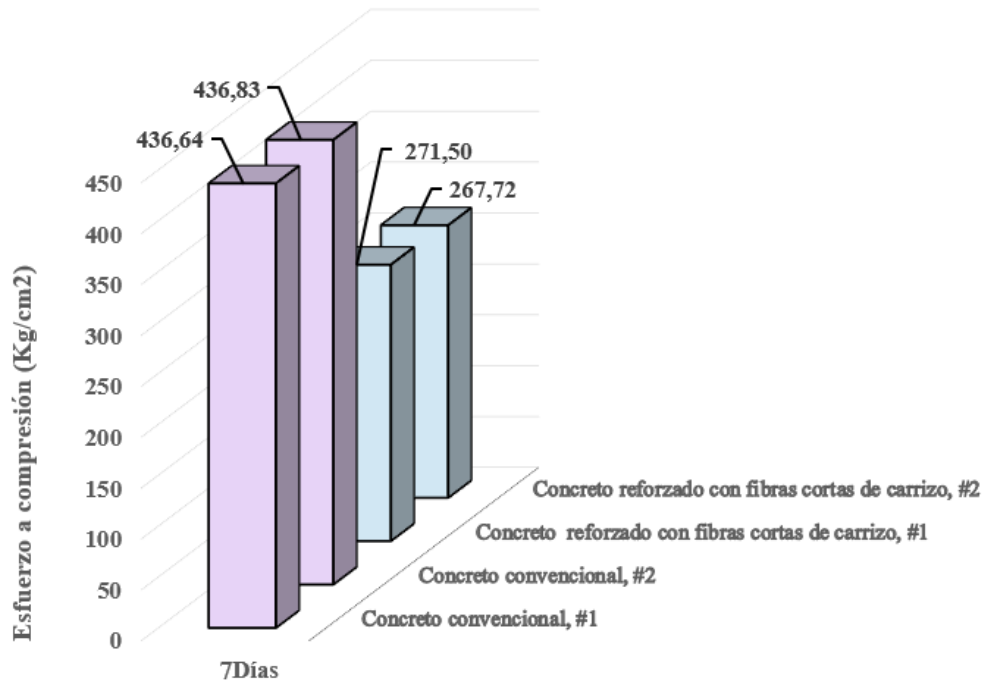
# Muestra	Descripción	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kg)	Esfuerzo a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )
3	Control	177.42	80936.69	456.19
4	Control	176.71	88654.42	501.69
	Hormigón			
3	reforzado con fibras de carrizo	175.07	54539.92	311.53
	Hormigón			
4	reforzado con fibras de carrizo	176.71	59213.58	335.08

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis comparativo de las resistencias obtenidas entre las muestras de hormigón convencional y hormigón reforzado con fibras, se evidencia que el hormigón convencional exhibe una resistencia a la compresión superior, conforme se muestra en la Figura 4.1.

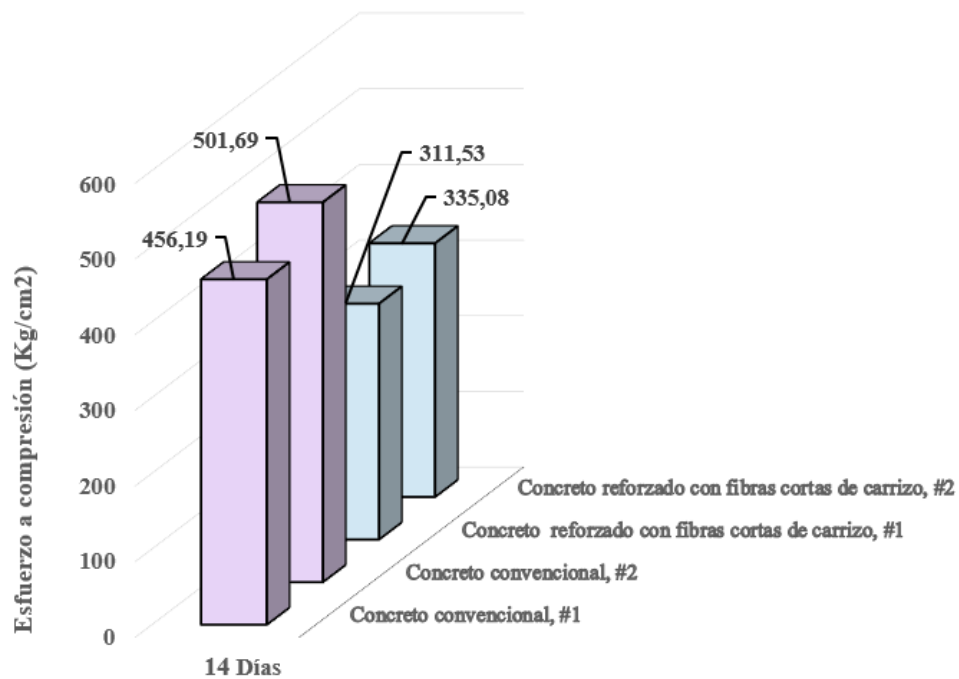
Transcurridos 14 días, al realizar los ensayos la resistencia de las muestras de hormigón reforzado experimentó un incremento notable, como se aprecia en la Figura 4.2; sin embargo, sigue siendo inferior a la del hormigón convencional.

Figura 4.1: Comparación de hormigón convencional y hormigón reforzado, a los 7 días.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2: Comparación de hormigón convencional y hormigón reforzado, a los 14 días.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.Resultados: Ensayos de resistencia a la flexión.

Transcurridos 7 y 14 días desde el proceso de fundición de las vigas, se realizarán los ensayos pertinentes. En los ensayos efectuados a los 7 días se evaluarán dos dosificaciones, las vigas elaboradas con la primera dosificación se destinarán exclusivamente a analizar el comportamiento de las fibras en un hormigón de baja resistencia.

**Hormigón convencional:** se recopilaron datos de 6 vigas de control, las dos primeras corresponden a la primera dosificación, como se muestran en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14: Descripción y toma de datos de las vigas elaboradas con la primera dosificación.

#Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)
1	19/03/2024	26/03/2024	7	15	15	45
2	19/03/2024	26/03/2024	7	15	15	45

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera las vigas de control elaboradas con la segunda dosificación se presentan en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15: Descripción y toma de datos de las vigas elaboradas con la segunda dosificación.

#Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)
1	01/04/2024	08/04/2024	7	15	15	50
2	01/04/2024	08/04/2024	7	15	15	50
3	01/04/2024	15/04/2024	14	15	15	50
4	01/04/2024	15/04/2024	14	15	15	50

Fuente: Elaboración propia.

**Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo:** se tomaron los datos de las 6 vigas con refuerzo, las vigas pertenecientes a la primera dosificación se muestran en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16: Descripción y toma de datos de las vigas con refuerzo, elaboradas con la primera dosificación.



#Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)
1	19/03/2024	26/03/2024	7	15	15	45
2	19/03/2024	26/03/2024	7	15	15	45

*Fuente:* Elaboración propia.

De igual manera las vigas con refuerzo de fibras cortas elaboradas con la segunda dosificación se presentan en la Tabla 4.17:

Tabla 4.17: Descripción y toma de datos de las vigas con refuerzo, elaboradas con la segunda dosificación.

#Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)
1	01/04/2024	08/04/2024	7	15	15	50
2	01/04/2024	08/04/2024	7	15	15	50
3	01/04/2024	15/04/2024	14	15	15	50
4	01/04/2024	15/04/2024	14	15	15	50

*Fuente:* Elaboración propia.

**Hormigón convencional con refuerzo de fibras trenzadas de carrizo:** se recopilaron datos de las 6 vigas con refuerzo, las vigas correspondientes a la primera dosificación, cuyas fibras trenzadas no han sido sometidas a un proceso de raspado, se presentan en la Tabla 4.18

Tabla 4.18: Descripción y toma de datos de las vigas con refuerzo de fibras trenzadas, elaboradas con la primera dosificación.

#Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)
1	19/03/2024	26/03/2024	7	15	15	45
2	19/03/2024	26/03/2024	7	15	15	45

*Fuente:* Elaboración propia.

Las vigas elaboradas con la segunda dosificación, cuyo refuerzo de fibras trenzadas fue sometido a un proceso de raspado, se presentan en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19: Descripción y toma de datos de las vigas con refuerzo de fibras trenzadas, elaboradas con la segunda dosificación.

#Muestra	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)
1	01/04/2024	08/04/2024	7	15	15	50
2	01/04/2024	08/04/2024	7	15	15	50
3	01/04/2024	15/04/2024	14	15	15	50
4	01/04/2024	15/04/2024	14	15	15	50

Fuente: Elaboración propia.

Antes de realizar los ensayos se verificó que las vigas no presentaran grietas, evidenciando que las muestras tuvieron un adecuado proceso de curado.

Al realizar los ensayos a los 7 días se obtuvieron los siguientes resultados. Las muestras correspondientes a la primera dosificación se presentan en la Tabla 4.20; mientras que aquellas de la segunda dosificación se muestran en la Tabla 4.21:

Tabla 4.20: Resultados del ensayo a flexión en vigas luego de 7 días: Primera dosificación.

Primera dosificación						
# Muestra	Descripción	Máxima fuerza (N)	Luz libre (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Módulo de rotura (MPa)
1	Hormigón convencional	13042,60	40	15	15	1,55
2	Hormigón convencional	11353,30	40	15	15	1,35
3	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo	10978,70	40	15	15	1,30
4	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo	10564,20	40	15	15	1,25

5	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo	9731,96	40	15	15	1,15
6	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo	10630,7	40	15	15	1,26

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 4.21: *Resultados del ensayo a flexión en vigas luego de 7 días: Segunda dosificación.*

Segunda dosificación						
# Muestra	Descripción	Máxima fuerza (N)	Luz libre (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Módulo de rotura (MPa)
1	Hormigón convencional	36173,30	45	15	15	4,82
2	Hormigón convencional	36976,80	45	15	15	4,93
3	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo	29048,10	45	15	15	3,87
4	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo	31603,30	45	15	15	4,21
5	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo	33439,50	45	15	15	4,46
6	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo	32695,60	45	15	15	4,36

*Fuente:* Elaboración propia.

Al transcurrir los 14 días se realizaron los ensayos a flexión, y se obtuvieron los siguientes resultados. Las muestras correspondientes a la segunda dosificación se muestran en la Tabla 4.22:

Tabla 4.22: Resultados del ensayo a flexión en vigas luego de 14 días: Segunda dosificación.

Segunda dosificación						
# Muestra	Descripción	Máxima fuerza (N)	Luz libre (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Módulo de rotura (MPa)
1	Hormigón convencional	42622,30	45	15	15	5,68
2	Hormigón convencional	36468,00	45	15	15	4,86
3	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo	31097,30	45	15	15	4,15
4	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo	34617,50	45	15	15	4,62
5	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo	37252,90	45	15	15	4,97
6	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo	36666,70	45	15	15	4,89

Fuente: Elaboración propia.

En relación con el desplazamiento exhibido por cada viga, se han obtenido los siguientes resultados: En la Tabla 4.23 se detallan las muestras correspondientes a la primera dosificación, mientras que en la Tabla 4.24 se presentan aquellas de la segunda dosificación.

Tabla 4.23: *Deformación de las vigas a los 7 días: Primera dosificación.*

Primera dosificación		
# Muestras	Descripción	Máximo desplazamiento (mm)
1	Hormigón convencional.	0,99067
2	Hormigón convencional.	2,58922
3	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.	1,42342
4	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.	1,81178
5	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo.	8,87518
6	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo.	10,2000

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 4.24: *Deformación de las vigas a los 7 días: Segunda dosificación.*

Segunda dosificación		
# Muestras	Descripción	Máximo desplazamiento (mm)
1	Hormigón convencional.	0,99067
2	Hormigón convencional.	2,58922
3	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.	1,42342

4	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.	1,81178
5	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo.	8,87518
6	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo.	10,2000

*Fuente:* Elaboración propia.

Al transcurrir los 14 días se obtuvieron los resultados que se detallan en la Tabla 4.25.

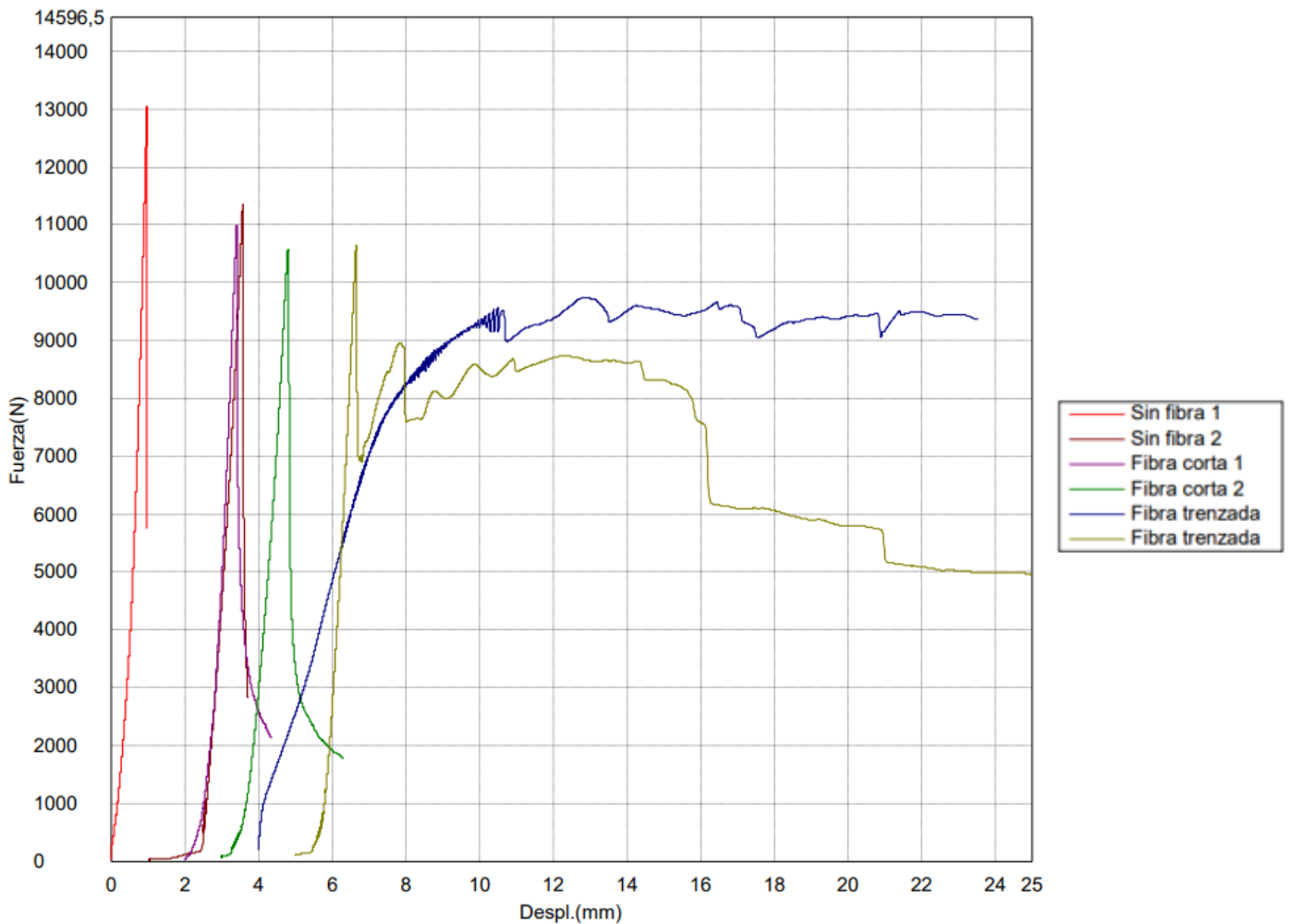
Tabla 4.25: Deformación de las vigas a los 14 días: Segunda dosificación.

Segunda dosificación		
# Muestras	Descripción	Máximo desplazamiento (mm)
1	Hormigón convencional.	0,99067
2	Hormigón convencional.	2,58922
3	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.	1,42342
4	Hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.	1,81178
5	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo.	8,87518
6	Hormigón y refuerzo con fibras trenzadas de carrizo.	10,2000

*Fuente:* Elaboración propia.

En la Figura 4.3 y la Figura 4.4; se presentan las curvas que representan la Fuerza máxima aplicada y la deformación respectiva de las vigas ensayadas tras un período de 7 días, tanto de la primera como la segunda dosificación.

Figura 4.3: Curvas Fuerza-Desplazamiento de las vigas ensayadas a los 7 días, con la primera dosificación.



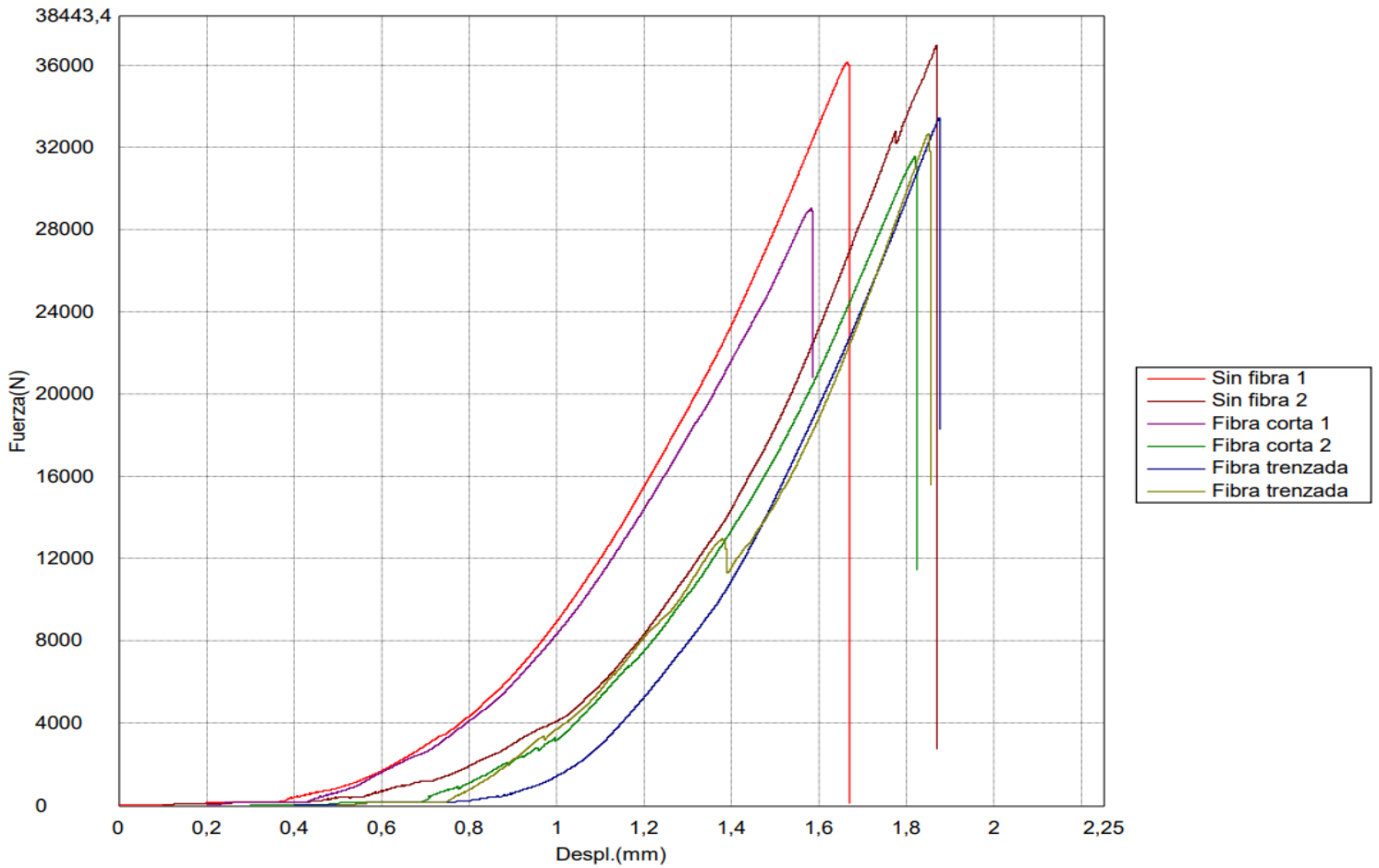
Fuente: Elaboración propia.

En los resultados obtenidos en el ensayo a flexión se observa una notable diferencia en el comportamiento de las vigas de hormigón convencional y las vigas reforzadas con fibras trenzadas de carrizo. Inicialmente, los resultados fueron insatisfactorios debido a una inadecuada dosificación del hormigón, lo cual afectó significativamente en su resistencia. Sin embargo, al tener un hormigón de baja calidad las fibras de carrizo actuaron como un refuerzo longitudinal, asumiendo un rol estructural predominante para soportar las cargas aplicadas durante el ensayo.

Por otro lado, los resultados de los ensayos realizados posteriormente muestran una mejora significativa en el comportamiento del hormigón. En estos ensayos, se aplicó una dosificación adecuada, optimizando la mezcla para alcanzar las propiedades mecánicas

deseadas. Además, se implementó un proceso diferente en las fibras de carrizo. Es así, que se obtuvo una resistencia adecuada, y por lo tanto las fibras tuvieron un papel secundario de refuerzo.

Figura 4.4: Curvas Fuerza-Desplazamiento de las vigas ensayadas a los 7 días, con la segunda dosificación.

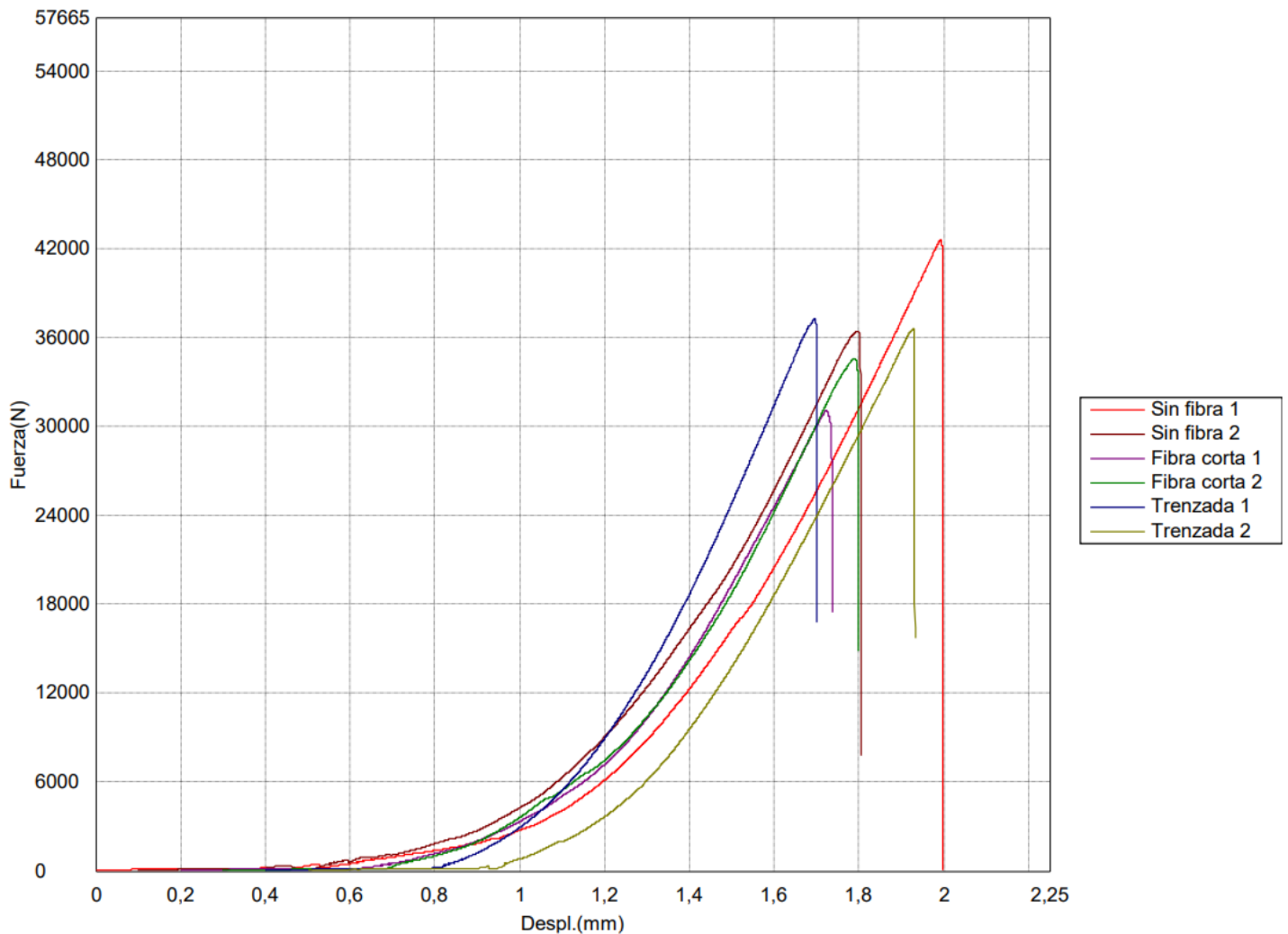


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.5 se muestran las curvas que representan la Fuerza máxima aplicada y la deformación correspondiente de las vigas ensayadas luego de un período de 14 días.



Figura 4.5: Curvas Fuerza-Desplazamiento de las vigas ensayadas a los 14 días, con la segunda dosificación



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Costos

Una parte esencial de este proyecto de investigación radica en la necesidad de establecer una comparación de los costos asociados con los tres tipos de vigas elaboradas: la viga de hormigón convencional (Tabla 4.26), la viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo (Tabla 4.27) y la viga de hormigón convencional, reforzada con fibras trenzadas de carrizo (Tabla 4.28).

Se llevó a cabo un detallado análisis de precios unitarios, que abarca la materia prima requerida para la elaboración del hormigón y los costos asociados con la adquisición y tratamiento del carrizo.

### ***Viga de hormigón convencional.***

Tabla 4.26: *Análisis de precios unitarios para una viga de hormigón convencional.*

<b>Viga de hormigón convencional</b>				
	Precio Unitario	Cantidad por viga		Precio Total
Cemento	0,147	5,79	Kg	0,852
Grava 3/4" (19 mm)	0,008	13,91	Kg	0,106
Arena	0,009	11,59	Kg	0,100
Aditivo	6,000	0,042	Kg	0,252
<b>Precio total</b>				<b>1,311</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

### ***Viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.***

Tabla 4.27: *Análisis de precios unitarios para una viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.*

<b>Viga de hormigón reforzado con fibra corta de carrizo</b>				
	Precio Unitario	Cantidad por viga		Precio Total
Cemento	0,147	5,79	Kg	0,852
Grava 3/4" (19mm)	0,008	13,91	Kg	0,106
Arena	0,009	11,59	Kg	0,100
Aditivo	6,000	0,042	Kg	0,252
Carrizo	0,088	0,75	Unidad	0,066
Hidróxido de sodio	0,005	110	g	0,557
<b>Precio total</b>				<b>1,934</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

***Viga de hormigón convencional reforzada con fibras trenzadas.***

Tabla 4.28: *Análisis de precios unitarios para una viga de hormigón convencional reforzada con fibras trenzadas de carrizo.*

<b>Viga de hormigón convencional reforzada con fibras trenzadas.</b>				
	Precio Unitario	Cantidad por viga		Precio Total
Cemento	0,147	5,79	Kg	0,852
Grava 3/4" (19mm)	0,008	13,91	Kg	0,106
Arena	0,009	11,59	Kg	0,100
Aditivo	6,000	0,042	Kg	0,252
Carrizo	0,088	2,5	Unidad	0,219
Alambre galvanizado	1,19	0,0054	Kg	0,006
Hidróxido de sodio	0,005	77,5	gr	0,393
<b>Precio total</b>				<b>1,928</b>

*Fuente:* Elaboración propia.

## **5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

### **5.1. Análisis de los materiales empleados.**

El cemento Premium tipo HE cumplió las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante Holcim, evidenciando notables resistencias en períodos de fraguado reducidos. Los ensayos realizados a los 7 y 14 días arrojaron resultados satisfactorios, validando así su idoneidad para las aplicaciones específicas.

En relación al tratamiento químico, aplicando hidróxido de sodio a las fibras de carrizo, se logró exitosamente el propósito de eliminar la lignina y la hemicelulosa del carrizo. Este proceso resultó en una disminución significativa de la capacidad de absorción de humedad por parte de las fibras, mejorando su estabilidad y sus propiedades mecánicas.

Los valores obtenidos para el agregado fino y grueso exhibieron valores que se encontraron dentro de los rangos establecidos por la normativa ASTM, cumpliendo los requisitos en cuanto al módulo de finura y la granulometría bien graduada para el agregado grueso, con un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ ". Estos resultados son óptimos para realizar las muestras.

### **5.2. Análisis del asentamiento del hormigón en cada mezcla.**

Respecto al asentamiento obtenido por ambas mezclas, se ha observado una mínima diferencia. El hormigón convencional registró un valor de 3,11 pulgadas, mientras que el hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo mostró un valor ligeramente superior de 3,14 pulgadas. Por lo tanto, es evidente que ambas mezclas exhiben una consistencia adecuada para su manipulación durante el proceso de elaboración de muestras.

Esto evidencia que la inclusión de las fibras de carrizo no incidió significativamente en el revenimiento del hormigón.

### 5.3. Análisis: Ensayo de resistencia a la compresión.

Los resultados respecto a su resistencia a la compresión en los cilindros de hormigón convencional fueron satisfactorios, al superar los 400 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 y 14 días. Se ha observado una característica distintiva en estos cilindros, han manifestado una falla repentina y explosiva al alcanzar el límite de su resistencia. Tal como se observa en la Figura 5.1.

*Figura 5.1:* Falla explosiva en los cilindros de hormigón convencional.



*Fuente:* elaboración propia.

Por otro lado, se ha constatado que la inclusión de un contenido del 1.5% de fibras cortas de carrizo ha tenido un impacto notable en la resistencia a la compresión de los cilindros correspondientes, los cuales no alcanzaron el umbral de los 400 kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.4. Análisis: Ensayo de resistencia a la flexión.

Al realizar los respectivos ensayos y comparar los datos relativos a los módulos de rotura obtenidos por cada viga, se pueden inferir las siguientes observaciones:

- Las vigas elaboradas con hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo, exhibieron una disminución en su resistencia a la flexión en comparación con las muestras de control. Las vigas con refuerzo de ambas dosificaciones arrojaron valores inferiores, con un promedio

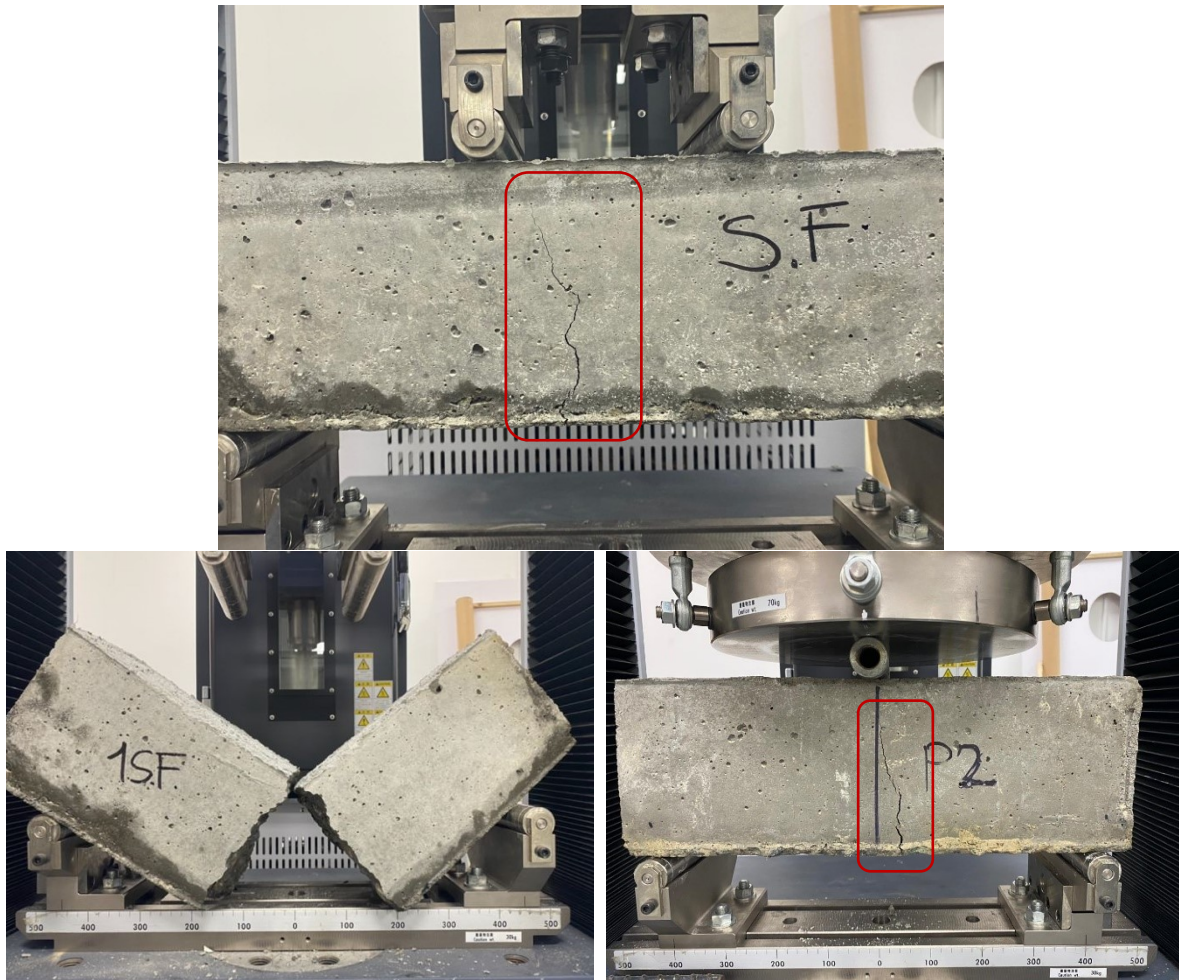
de Módulo de rotura de 4,04 MPa; mientras que el valor promedio de las muestras de control es de 4,87 MPa.

- Las vigas reforzadas con fibras trenzadas registraron valores inferiores en los ensayos realizados a los 7 días con ambas dosificaciones. Al considerar únicamente la segunda para comparar su resistencia, se obtuvo un promedio de Módulo de rotura de 4,41 MPa para las vigas reforzadas, en contraposición al valor promedio obtenido por las muestras de control con un valor de 4,87 MPa.
- A los 14 días, las vigas reforzadas con fibras trenzadas presentaron mejores resultados. Se considerará únicamente la viga #2 respecto a las muestras de control, dado que la viga #1 posee una dosificación distinta. Al comparar los valores de Módulo de rotura, las vigas con fibras trenzadas tienen un valor promedio de 4,93 MPa, mientras que la viga de control tiene un promedio igual a 4,86 MPa.

Además de los resultados cuantitativos, se evaluó el comportamiento de las fisuras generadas durante los ensayos, con el siguiente análisis:

- Las fisuras en las vigas convencionales exhibieron dimensiones mayores, y en una de ellas se observó una ruptura explosiva, dividiendo la viga por la mitad. Tal como se muestra en la Figura 5.2.

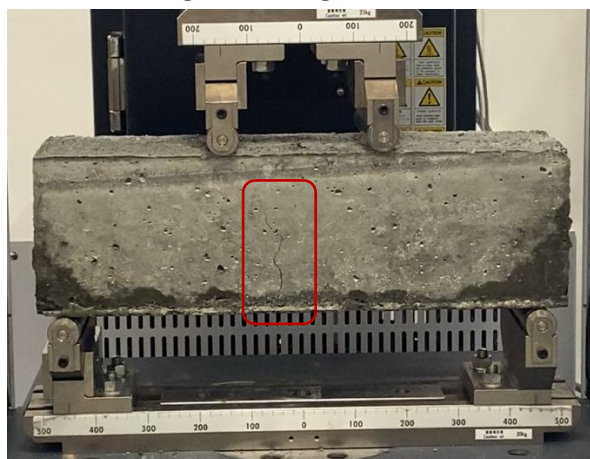
Figura 5.2: Tipos de fallas en las vigas de hormigón convencional.

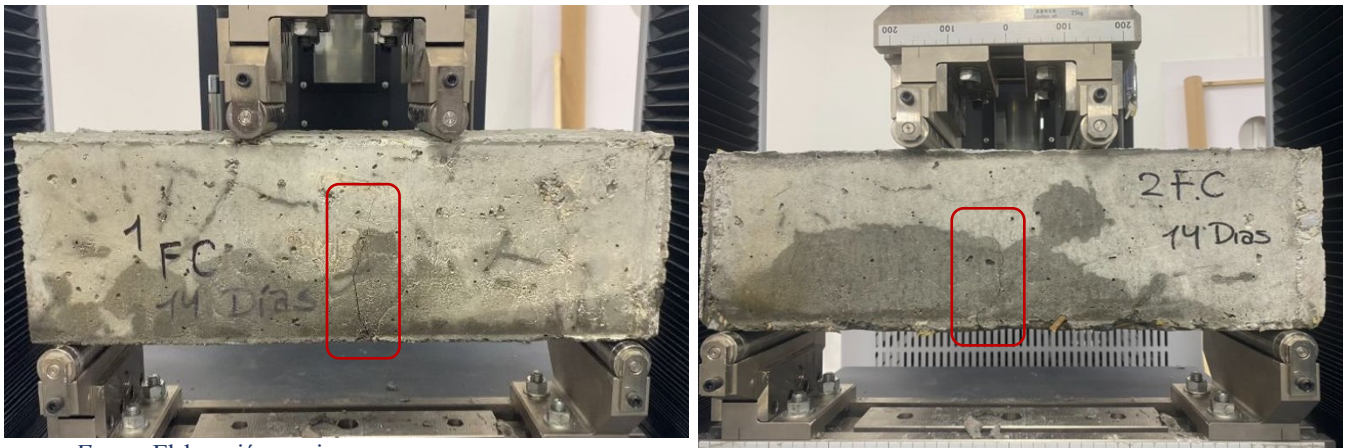


Fuente: Elaboración propia.

- Las fisuras en las vigas reforzadas con fibras cortas de carrizo, que se muestran en la Figura 5.3 tuvieron menor dimensión que las fisuras en las muestras de control, además que la matriz de la viga no se podía separar por la adherencia de las fibras.

Figura 5.3: Tipos de fallas en las vigas de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo.

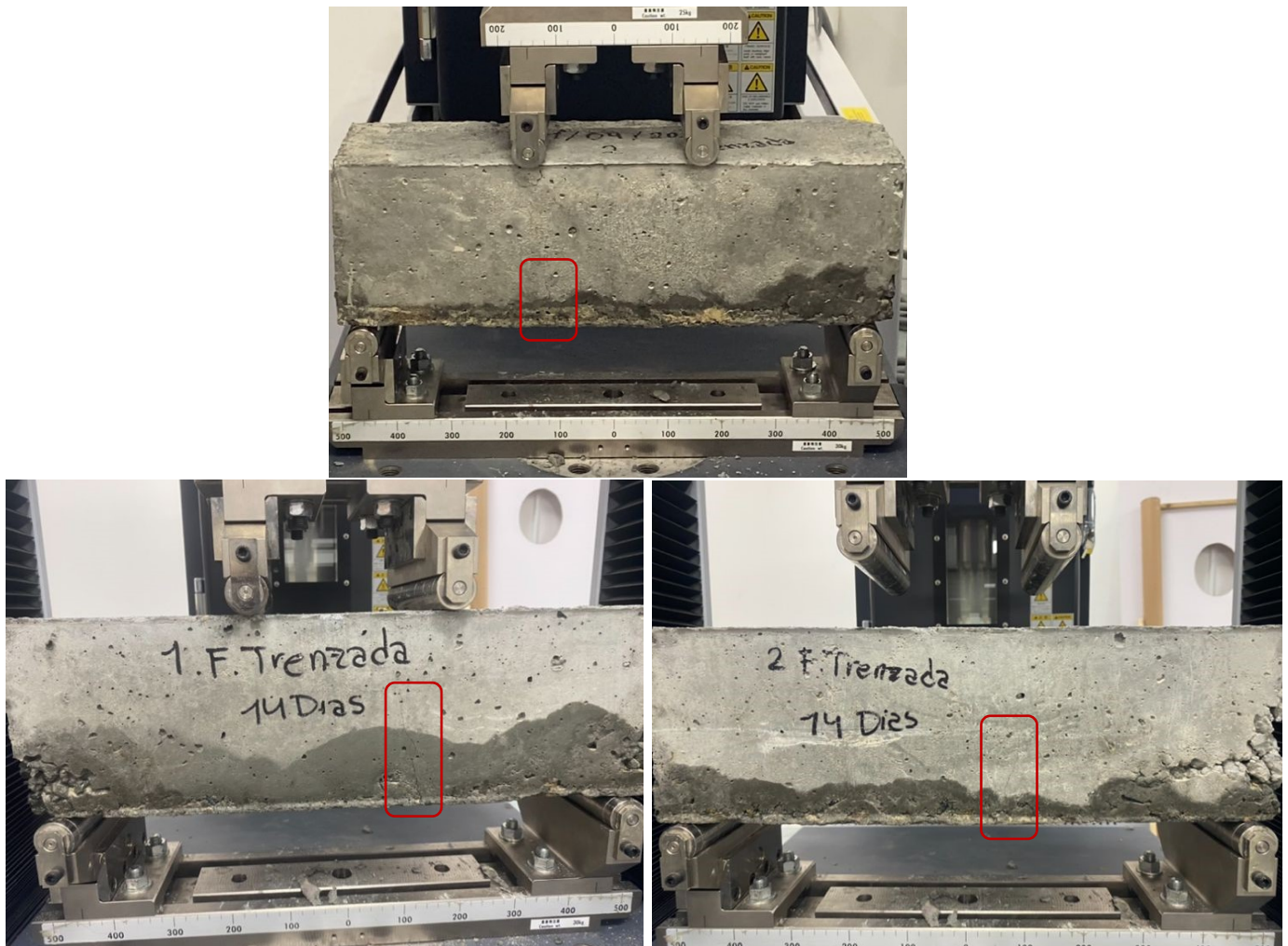




Fuente: Elaboración propia.

- Las fisuras en las vigas reforzadas con fibras trenzadas fueron significativamente menores y casi imperceptibles, como se observan en la Figura 5.4.

Figura 5.4: Tipos de fallas en las vigas de hormigón convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo.



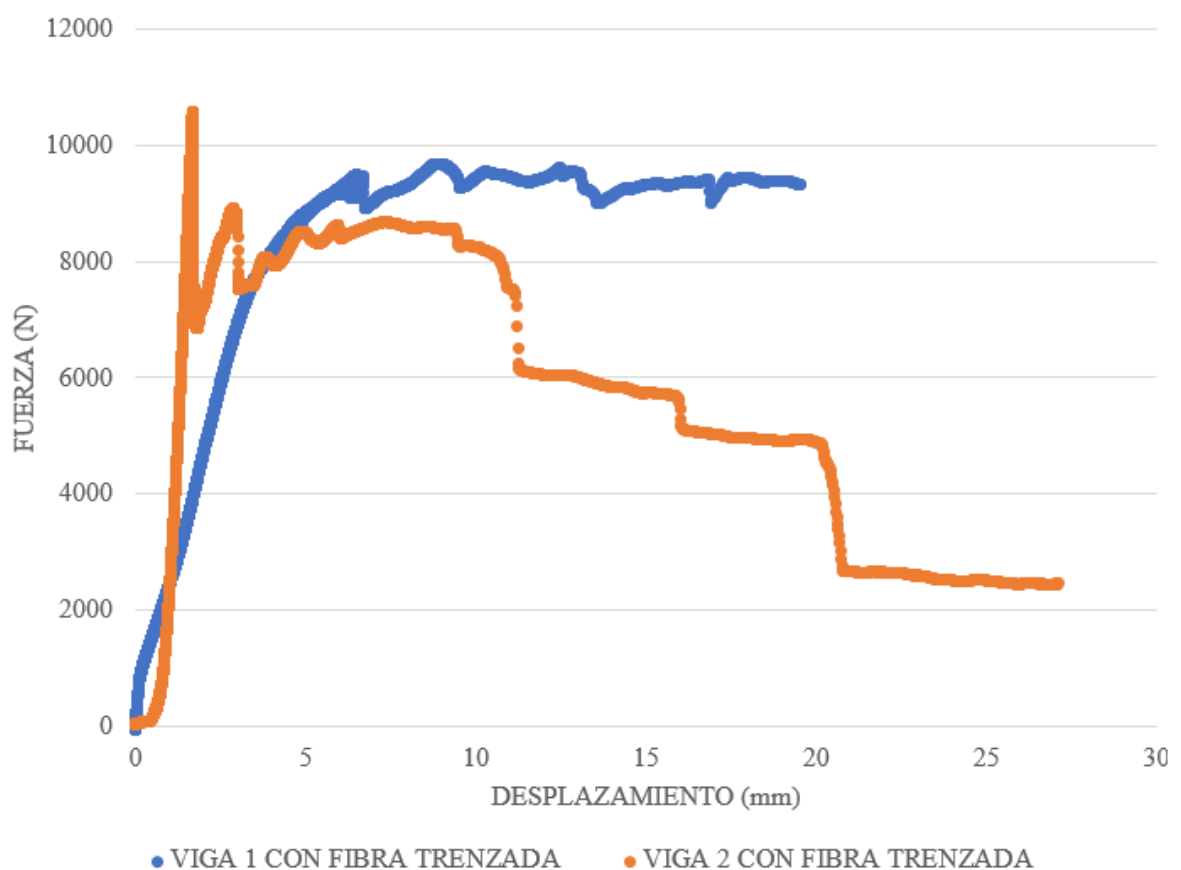
Fuente: Elaboración propia.



- Las fibras trenzadas desempeñaron un papel crucial en la reducción de la amplitud de las fisuras. Es importante destacar que, en las vigas elaboradas con la primera dosificación, se emplearon fibras trenzadas que no fueron sometidas a un procedimiento de raspado.

Esta particularidad otorgó a las fibras una mayor estabilidad y resistencia, lo que a su vez favoreció la capacidad de recuperación de la viga bajo cargas de flexión, permitiendo soportar desplazamientos más significativos, como se muestra en la Figura 5.5.

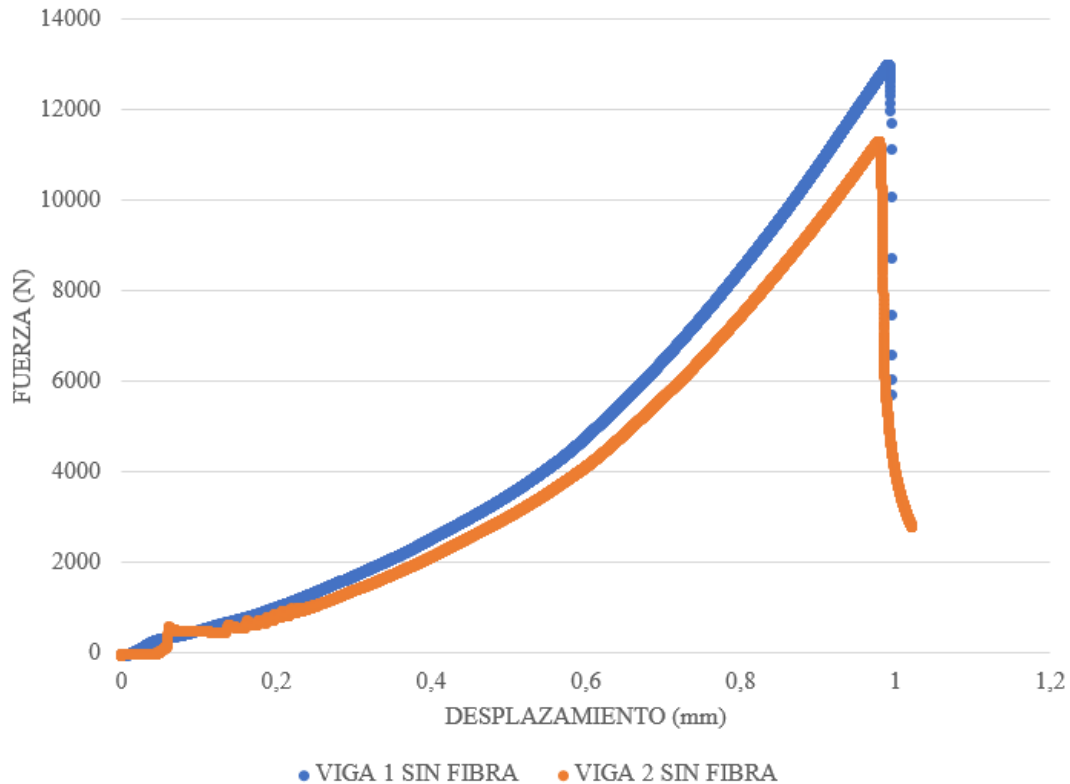
Figura 5.5: Comportamiento de las vigas trenzadas de carrizo ante la flexión, luego de 7 días.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Figura 5.6 se muestra el comportamiento de las vigas sin fibra, con el propósito de evidenciar que la falla de la viga se produce con una carga muy baja y sin ninguna posibilidad de recuperación.

Figura 5.6: Comportamiento de las vigas convencionales ante la flexión, luego de 7 días.



*Fuente:* Elaboración propia.

### 5.5. Análisis: Comparación de costos entre los diferentes tipos de vigas.

Al realizar un análisis de precios para los distintos tipos de vigas, se identifica que el costo más alto corresponde a la elaboración de una viga de hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo. Esta incidencia se atribuye principalmente al requerimiento de una mayor cantidad de hidróxido de sodio durante el proceso de fabricación, debido a la necesidad de tratar una cantidad significativa de carrizo.

De igual forma, se destaca que el costo más bajo se obtiene en la fabricación de vigas convencionales, también llamadas como vigas de control. Por otro lado, se evidencia que las vigas de hormigón convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo exhiben un costo más alto con respecto a las vigas de control, aunque este incremento relativo es sustancialmente menor en comparación con el costo asociado a la fabricación de vigas con hormigón reforzado.

## CONCLUSIONES

- El hormigón reforzado con fibras cortas de carrizo se vio afectado considerablemente en su resistencia a la compresión y en su resistencia a la flexión, por lo tanto, no es factible.
- Las fibras trenzadas de carrizo disminuyeron en gran proporción la dimensión de las fisuras en las vigas a diferencia de las vigas convencionales que presentaron fisuras de una dimensión considerable.
- A partir de los 14 días las vigas de hormigón convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo tienen una mayor resistencia a la flexión que los otros tipos de vigas.
- Al tener un análisis del comportamiento de las vigas y un análisis de costos, se concluye que el costo de fabricación de las vigas de hormigón convencional reforzadas con fibras trenzadas de carrizo se encuentra debidamente justificado por las propiedades que presentan: disminuyendo la dimensión de las fisuras, permitiendo un mayor desplazamiento y una mayor resistencia a flexión.

## RECOMENDACIONES

- El carrizo al someterse a un tratamiento químico y perder parcialmente sustancias como la lignina y la hemicelulosa que le permiten mantener y absorber humedad, disminuye su grosor. Se recomienda utilizar barras de carrizo que tengan un grosor considerable.
- Las fibras de carrizo que se emplearán para realizar los trenzados no deberán someterse a un proceso de raspado, ya que esto disminuye sus propiedades de rigidez y resistencia.
- Para las vigas de hormigón convencional reforzadas con fibras, al realizar los trenzados se podría incrementar el número de fibras que se utilizan para armarlo o se podría incrementar el número de trenzados por viga.
- Las pruebas con el carrizo como refuerzo se realizaron en un plazo máximo de 14 días, por ende, no sabemos cuál es la duración previa a la descomposición del carrizo cuando está en contacto con el hormigón. Este es un planteamiento de un tema para investigaciones futuras en el ámbito de la construcción sostenible.
- Las fibras trenzadas de carrizo que no fueron sometidas a un proceso de raspado no tuvieron una mala adherencia al hormigón, pero se podría encontrar un método que les permita tener una mejor unión, siendo un tema para investigaciones futuras.

## Referencias

- Acevedo Agudelo, H., Vásquez Hernández, A., & Ramírez Cardona, D. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *redalyc*, 109. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/28440/169424101009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alavedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., & Serra, J. (1977). La construcción sostenible. El estado de la cuestión. *Informes de la construcción*, 1-2. doi:<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- Arevalo Niño, K. (Noviembre de 1996). *Elaboración de plásticos biodegradables a partir de polisacaridos y su estudio de biodegradación a nivel de laboratorio y campo*. Obtenido de Universidad Autonoma de Nuevo Leon: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/4767>
- ASTM C 78-02. (30 de Marzo de 2022). *ASTM*. Obtenido de [https://www.astm.org/c0078\\_c0078m-22.html](https://www.astm.org/c0078_c0078m-22.html)
- ASTM C-39. (2021). *ASTM C39 / C39M-20, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International. doi:[https://doi.org/10.1520/C0039\\_C0039M-20](https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-20)
- Ayala Sánchez, I., & Suarez Martinez, C. (2015). *Verificación del criterio del ensayo de equivalente de arena en mezclas de concreto*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/2331>
- Bautista Castillo, L., & Rojas Ruiz, R. (2022). *Análisis de la influencia de las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico con ceniza de carrizo en el diseño de pavimento rígido con el método de la Portland Cement Association (PCA) en la av.*

*Próceres del distrito Chilca - Huancayo - 2021*. Huancayo: Universidad Continental.

Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12341>

Borja Quintanilla , W., & Rea Castillo, J. (2015). "*Análisis comparativo del módulo de rotura en vigas de hormigón simple y vigas reforzadas con fibra de carbono con una resistencia a la compresión de 28 MPa utilizando agregados del sector Guayllabamba y cemento holcim tipo HE*". Quito: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4455>

Carranza Cortez, F., & Tasilla López, A. (2022). *Incorporación de fibra de carrizo y silicato sódico para mejorar la*. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/107384>

Carrión, L., Ordoñez, J., Duran, J., & Farias, J. (2020). Hormigón reforzado con fibra natural de caña de azúcar y su resistencia a la compresión. *UTMACH*, (pág. 2). Machala. doi:<https://doi.org/10.48190/cp.v4n1a7>

de Rawan , R., Jahami, A., Khatib, J., El-Hassan, H., & Elkordi, A. (2023). Improving Structural Performance of Reinforced Concrete Beams with Phragmites Australis Fiber and Waste Glass Additives. *applied sciences*, 1. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/7/4206>

de Rawan, R., Khatib , J., Ghorbel, E., & Elkordi, A. (2023). Efecto de la adición de la planta Phragmites-australis sobre la contracción química y las propiedades mecánicas del mortero. *Bio-Based Building Materials*, (pág. 1). Vienna. Obtenido de [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-33465-8\\_43](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-33465-8_43)

Geremew, A., De Winne, P., Demissie, T., & De Backer, H. (2021). Treatment of Natural Fiber for Application in Concrete Pavement. *Advances in Civil Engineering*, 3. doi:<https://doi.org/10.1155/2021/6667965>

- Gonzalez Patarroyo, C., & Roncancio Becerra, J. (2015). *Incidencia de los altos porcentajes de agregado PET en la resistencia a compresión del concreto*. Bogotá: Universidad la Gran Colombia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11396/3502>
- Holcim. (2024). *Holcim*. Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-07/ficha-holcim-fuerte.pdf>
- HOLCIM. (2024). *Holcim Ecuador*. Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-07/ficha-holcim-premium.pdf>
- HOLCIM. (2024). *Vigas de hormigón: Elementos fundamentales en la construcción*. Obtenido de HOLCIM España : <https://www.holcim.es/vigas-de-hormigon-que-son-como-funcionan-y-para-que-sirven>
- Imcyc. (Diciembre de 2013). *INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A.C.* Obtenido de <https://imcyc.com/revistacyt/images/problemas/2013/pdf/DICIEMBRE.pdf>
- Llerena Encalada , A. (2014). Estudio de compuestos cementíceos reforzados con fibras vegetales. *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONA TECH*, 9. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/41816044.pdf>
- Lu, N., Swan, R., & Ferguson, I. (2012). Composición, estructura y propiedades mecánicas del compuesto reforzado con fibra de cáñamo con matriz de polietileno reciclado de alta densidad. *Revista de Materiales Compuestos.*, 1915-1924. doi:<https://doi.org/10.1177/0021998311427778>
- Machaka, M., Khatib, J., Baydoun, S., Elkordi, A., & J. Assaad, J. (2022). The Effect of Adding Phragmites australis Fibers on the Properties of Concrete. *buildings*, 2. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/3/278>

- Mamani Flores, M. (2020). *Influencia de la fibra de carbono laminado en la resistencia a flexión del concreto  $F'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Juliaca*. Juliaca : Universidad Peruana Unión. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3304>
- Martin Sendra , A. (2020). *ESTUDIO COMPARATIVO DE FIBRAS NATURALES PARA*. Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/160345>
- Master Builders Solutions Ecuador S.A. (Enero de 2024). *Sika Building Trust*. Obtenido de <https://mbcc.sika.com/es-ec/products/masterglenium>
- Millán Castillo, M. (2013). *Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de polipropileno y su influencia en sus propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia Tungurahua*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6029>
- Nazer, A., Honores, A., & Chulak, P. (2018). HORMIGÓN SUSTENTABLE BASADO EN FIBRAS DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO. *redalyc*, 3. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/370/37066256018/>
- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Dterminación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. NTE INEN.
- NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. NTE INEN.
- Olivera Pérez, Y., Guevara Saravia, S., & Muñoz Pérez, S. (2022). Revisión sistemática de la literatura sobre la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de origen artificial-natural. *SciELO*, 2. doi:<https://doi.org/10.14483/23448393.18207>



Paquin, M. (23 de agosto de 2021). *naturalista*. Obtenido de <https://www.naturalista.mx/photos/152727545>

Paricaguán Morales, B., & Muñoz Cuevas, J. (2019). Studies of the mechanical properties of concrete reinforced with sugar. *Revista Ingeniería UC*, 203. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/707/70760276009/>

Pérez Gómez Martínez, G., Rosales Mendoza, J., López Montelongo, A., Ponce Palafox, C., & Ibarra Hernández, L. (2021). Alternativas para el incremento de la adherencia del carrizo, para mejorar su respuesta a la flexión. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 3. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1939/193969257002/>

Pérez Gómez Martínez, G., Rubio Sánchez, J., Ponce Palafox, C., Salgado Conrado, L., & Esmeralda Gómez, A. (2023). *Revista de Arquitectura*, 147, 148. doi:<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.3595>

Quiceno Peláez , A. (18 de Mayo de 2023). *Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín*. Obtenido de GOV.CO: <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/que-es-la-arquitectura-sostenible-y-como-impacta-en-el-diseno-de-un-futuro-mejor/>

Reyes Antileo, J., Villagrán Valenzuela , M., & Salgado Mendoza , P. (2022). CARACTERIZACIÓN DE UN HORMIGÓN ECOLÓGICO Y ANÁLISIS DE FACTORES QUE INCIDEN EN SU RESISTENCIA Y NIVEL DE ECOLOGIZACIÓN . *UCSC*, 1-2. Obtenido de [http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/3335/Tesis\\_JReyes\\_MV\\_PS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/3335/Tesis_JReyes_MV_PS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rocha-Tamayo, E. (2013). Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA. *nodo*, 105. Obtenido de <https://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/64/49>

- Shon, C.-S., Mukashev, T., Lee, D., Zhang, D., & R. Kim, J. (2019). Can Common Reed Fiber Become an Effective Construction Material? Physical, Mechanical, and Thermal Properties of Mortar Mixture Containing Common Reed Fiber. *MDPI*, 3. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/3/903>
- Sika. (2014). *CONCRETE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS*. Chile: Sika Chile.
- Torrent, R. (24 de Abril de 2020). *ASOCIACIÓN ARGENTINA del HORMIGON ELABORADO*. Obtenido de <https://web.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2020/04/M02b-Ensayos-de-Consistencia-Convencionales.pdf>
- Tovar Bernaola, P. (2021). Influencia de la Fibra de vidrio en la resistencia. *Universidad Peruana Los Andes*. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3812>
- Valadez-Gonzalez, A., Cervantes-UC, J., Olayo, R., & Herrera-Franco, P. (1999). Chemical modification of henequén fibers with an organosilane coupling agent. *Composites Part B: Engineering*, 321-331. doi:[https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(98\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(98)00055-9)
- Zerbino, R. (2020). El hormigón reforzado con fibras y sus proyecciones dentro de la industria de la construcción. *Revista de ingeniería*, no. 153, 14-18. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/109925>

## ANEXOS

### Anexo 1. Informe de los laboratorios de la UPS de los resultados de las vigas ensayadas a los 7 días, con la primera dosificación.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Ensayo.xtas	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	27/03/2024	Fecha de ensayo	27/03/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.
Velocidad	8000N/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	6

Nombre Parametros	M.Elastico Fuerza 10 – 500 N	Pend_Standard Fuerza 10 – 500 N	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas	Max_Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	N/mm	N	N/mm2
P1 (sin fibra)	190,351	6022,81	13042,6	2,31868
P2 (sin fibra)	3,84958	121,803	11353,3	2,01836
P3 (fibra corta)	37,0244	1171,47	10978,7	1,95177
P4 (fibra corta)	23,3304	738,189	10564,2	1,87809
P5 (fibra trens)	230,212	7284,05	9731,96	1,73013
P6 (fibra trens)	14,8597	470,171	10630,7	1,88990

Nombre Parametros	Max. Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max_Deformacion Calc. at Entire Areas	Max_Despl. Calc. at Entire Areas	Rotura_Fuerza Sensibilidad 10
Unidad	mm	%	mm	N
P1 (sin fibra)	0,99067	0,55725	0,99067	12357,1
P2 (sin fibra)	2,58922	1,45643	2,58922	--
P3 (fibra corta)	1,42342	0,80067	1,42342	--
P4 (fibra corta)	1,81178	1,01913	1,81178	--
P5 (fibra trens)	8,87518	4,99229	8,87518	--
P6 (fibra trens)	1,66153	0,93461	1,66153	--

Nombre Parametros	Rotura_Tension Sensibilidad 10	Rotura_Desplazamiento Sensibilidad 10	Rotura_Deformacion Sensibilidad 10	Rotura_Despl. Sensibilidad 10
Unidad	N/mm2	mm	%	mm
P1 (sin fibra)	2,19682	0,99405	0,55915	0,99405
P2 (sin fibra)	--	--	--	--
P3 (fibra corta)	--	--	--	--
P4 (fibra corta)	--	--	--	--
P5 (fibra trens)	--	--	--	--
P6 (fibra trens)	--	--	--	--

**Anexo 2. Informe de los laboratorios de la UPS de los resultados de las vigas ensayadas a los 7 días, con la segunda dosificación.**

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Ensayo.xtas	Nombre de metodo de ensayo	Flexion 4 puntos.xmas
Fecha de informe	08/04/2024	Fecha de ensayo	08/04/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	8000N/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	6

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
Sin fibra 1	36173,3	4,82311	1,66428	0,66571
Sin fibra 2	36976,8	4,93024	1,76968	0,70787
Fibra corta 1	29048,1	3,87308	1,38219	0,55288
Fibra corta 2	31603,3	4,21378	1,52022	0,60809
Fibra trenzada	33439,5	4,45860	1,47431	0,58972
Fibra trenzada	32695,6	4,35941	1,35065	0,54026

Nombre	Max._Despl.	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension	Rotura_Desplazamiento
Parametros	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	N	N/mm2	mm
Sin fibra 1	1,66428	35801,1	4,77348	1,66928
Sin fibra 2	1,76968	36110,0	4,81467	1,77100
Fibra corta 1	1,38219	27949,2	3,72656	1,38632
Fibra corta 2	1,52022	30692,9	4,09238	1,52304
Fibra trenzada	1,47431	31147,8	4,15304	1,47756
Fibra trenzada	1,35065	29371,4	3,91619	1,35510

Nombre	Rotura_Deformacion	Rotura_Despl.
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	%	mm
Sin fibra 1	0,66771	1,66928
Sin fibra 2	0,70840	1,77100
Fibra corta 1	0,55453	1,38632
Fibra corta 2	0,60922	1,52304
Fibra trenzada	0,59102	1,47756
Fibra trenzada	0,54204	1,35510

**Anexo 3. Informe de los laboratorios de la UPS de los resultados de las vigas ensayadas a los 14 días, con la segunda dosificación.**

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	Ensayo.xtas	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/04/2024	Fecha de ensayo	15/04/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	8000N/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	6

Nombre	Max._Fuerza	Max._Tension	Max._Desplazamiento	Max._Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N	N/mm2	mm	%
Sin fibra 1	42622,3	5,68297	1,99457	0,79783
Sin fibra 2	36468,0	4,86240	1,69712	0,67885
Fibra corta 1	31097,3	4,14630	1,52373	0,60949
Fibra corta 2	34617,5	4,61567	1,49002	0,59601
Trenzada 1	37252,9	4,96705	1,29583	0,51833
Trenzada 2	36666,7	4,88890	1,43000	0,57200

Nombre	Max._Despl.	Rotura_Fuerza	Rotura_Tension	Rotura_Desplazamiento
Parametros	Calc. at Entire Areas	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	mm	N	N/mm2	mm
Sin fibra 1	1,99457	41855,8	5,58078	1,99695
Sin fibra 2	1,69712	34738,2	4,63176	1,70367
Fibra corta 1	1,52373	27522,8	3,66971	1,53664
Fibra corta 2	1,49002	32084,4	4,27792	1,49948
Trenzada 1	1,29583	36567,2	4,87562	1,30071
Trenzada 2	1,43000	35704,6	4,76062	1,43191

Nombre	Rotura_Deformacion	Rotura_Despl.
Parametros	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10
Unidad	%	mm
Sin fibra 1	0,79878	1,99695
Sin fibra 2	0,68147	1,70367
Fibra corta 1	0,61466	1,53664
Fibra corta 2	0,59979	1,49948
Trenzada 1	0,52028	1,30071
Trenzada 2	0,57276	1,43191