



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de Titulación Previo a la Obtención  
del Título de**

**INGENIERO CIVIL**

**Título del Trabajo de Titulación**

**DETERMINACIÓN DE UNA DOSIFICACIÓN PARA UNA MEZCLA DE  
HORMIGÓN UTILIZANDO FIBRAS DE COCO Y CENIZAS DEL  
BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR COMO ALTERNATIVA PARA  
MEJORAR LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A LA COMPRESIÓN**

Nombres completos del autor.

**JEANCARLO CLOTARIO FREIRE GRANDA**

TUTOR:

**LUIS SORIA**

Quito, 15 Julio del 2024

**DECLARACIÓN JURAMENTADA**





## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

“Determinación de una Dosificación para una Mezcla de Hormigón Utilizando Fibras de Coco y Cenizas de Madera como Alternativa para Mejorar la Resistencia del Hormigón a la Compresión”

Realizado por:

**JEANCARLO CLOTARIO FREIRE GRANDA**

como Requisito para la Obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

ha sido dirigido por el profesor

**LUIS SORIA**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA



Título del trabajo de titulación

“Determinación de una Dosificación para una Mezcla de Hormigón Utilizando Fibras de Coco y Cenizas del Bagazo de Caña de Azúcar como Alternativa para Mejorar la Resistencia del Hormigón a la Compresión”

Por

Jeancarlo Clotario Freire Granda

Julio 2024

Aprobado:

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Tutor Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Presidente del Tribunal Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Miembro del Tribunal Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Miembro del Tribunal.

Aceptado y Firmado: \_\_\_\_\_ día, mes, año  
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Aceptado y Firmado: \_\_\_\_\_ día, mes, año  
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Aceptado y Firmado: \_\_\_\_\_ día,  
mes, año Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

\_\_\_\_\_ día, mes, año

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.  
Presidente(a) del Tribunal  
Universidad Internacional SEK

## **DEDICATORIA**

Dedico, este trabajo a Dios por ser fortaleza y darme el don de la sabiduría para superar los obstáculos que se han presentado en lo largo de mi carrera profesional.

A mi madre Adriana del Rocío Granda que siempre me quiso ver como un profesional que en paz descansa y la promesa que siempre la hice, mi padre Bolívar Freire que nunca dudó de mis habilidades, destrezas y su apoyo arduo hasta al final de mi carrera, mis hermanas María José, María Belén por palabras de aliento, dedico también a mis abuelitos Zoilo, Irene a mis familiares por ser un pilar incondicional son mi inspiración.

A mi enamorada Evelyn Tamayo por formar parte del proceso en este arduo camino por su motivación.

Este logro es el fruto de la perseverancia y la convicción de que todo esfuerzo tiene su recompensa.



Este trabajo de tesis fue realizado bajo el Programa de Investigación:  
Convocatoria para la presentación de programas y/o proyectos de investigación  
científica y desarrollo tecnológico – Universidades.

## **FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL**

**Proyecto de Investigación de la Dirección de Investigación e Innovación**

DII-UISEK-PXXXXXX\_X.X

## RESUMEN

En medio de la búsqueda de soluciones que no solo respondan a las necesidades estructurales de la construcción, sino que también aborden los desafíos ambientales urgentes, nace la idea del uso de las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar para mejorar la resistencia del hormigón.

Esta investigación tiene como objetivo poder determinar la resistencia que puede brindarle al hormigón las fibras de coco y las cenizas de bagazo de caña de azúcar con el fin de que este material pueda ser utilizado en construcción. Las dosificaciones que fueron sujeta a estudio fueron: Hormigón con 1% Ceniza y 4% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>); Hormigón con 2.5% Ceniza y 2.5% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>) ; Hormigón con 4% Ceniza y 1% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>), frente a una base de Hormigón f'c 210 (kg/cm<sup>2</sup>).

Los ensayos se efectuaron siguiendo la norma ASTM C39/C39M y los resultados demostraron que la incorporación de ceniza de bagazo de caña y fibras de coco en el hormigón tiene un impacto significativo en el desarrollo de su resistencia a compresión. La mezcla que presentó el mejor desempeño en términos de resistencia a compresión fue aquella que contenía un 4% de ceniza de bagazo de caña y un 1% de fibras de coco, cabe señalar que su mejora fue más significativa a los 28 días de curado, con una resistencia máxima de 236.74 kg/cm<sup>2</sup>.

**Palabras Clave:** Caña de Azúcar, Cenizas, Fibras de Coco, Hormigón, Resistencia.

## ABSTRACT

In the midst of the search for solutions that not only meet the structural needs of construction, but also address urgent environmental challenges, the idea of using coconut fibers and sugarcane bagasse ash to improve the strength of concrete was born.

The objective of this research is to determine the resistance that coconut fibers and ugar cane bagasse ash can provide to concrete so that this material can be used in construction. The dosages that were subject to study were: Concrete with 1% ash and 4% coconut (Kg/Cm<sup>2</sup>); Concrete with 2.5% ash and 2.5% coconut (Kg/Cm<sup>2</sup>); Concrete with 4% ash and 1% coconut (Kg/Cm<sup>2</sup>), compared to a concrete base  $f_c$  210 (kg/cm<sup>2</sup>).

The tests were carried out according to ASTM C39/C39M and the results showed that the incorporation of bagasse ash and coconut fibers in the concrete has a significant impact on the development of its compressive strength. The mix that presented the best performance in terms of compressive strength was the one containing 4% bagasse ash and 1% coconut fibers, it should be noted that its improvement was more significant at 28 days of curing, with a maximum strength of 236.74 kg/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** Sugarcane, Ashes, Coconut Fibers, Concrete, Strength.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO .....	7
1.1. Planteamiento del problema .....	8
1.2. Formulación del problema .....	9
1.3. Objetivos .....	10
1.3.1. Objetivo General .....	10
1.3.2. Objetivos Específicos .....	10
1.4. Hipótesis.....	11
1.5. Alcance y Limitaciones .....	11
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES .....	14
2.1. Contexto del Estudio .....	14
2.2. Relevancia del Estudio .....	16
2.3. Uso de Materiales Sostenibles en Construcción.....	17
2.4. Definición de sostenibilidad en la construcción .....	18
2.5. Criterios para Considerar un Material como Sostenible.....	19
2.6. Ciclo de vida de un Material Sostenible en la Construcción.....	20
2.7. Beneficios Generales .....	21
2.8. Tendencias y Aplicaciones Actuales .....	23
2.9. Propiedades y Beneficios de las Fibras de Coco .....	24
2.9.1. Características físicas y mecánicas .....	26

	2
2.10. Cenizas del Bagazo de Caña de Azúcar como Aditivo.....	27
2.10.1. Características físicas y mecánicas .....	29
2.11. Investigaciones Previas y Resultados Relevantes.....	31
2.12. Contribuciones de las Cenizas del Bagazo de Caña de Azúcar al Hormigón.....	31
2.13. Innovaciones y Desafíos Futuros.....	34
2.14 Impacto Ambiental y Económico .....	37
Capítulo 3: METODOLOGÍA .....	38
3.1. Enfoque de la investigación.....	38
3.2. Diseño de la investigación.....	39
3.3. Materiales y Recursos.....	40
3.3.1. Recursos Físicos.....	40
3.3.2. Recursos Humanos.....	41
3.3.3. Recursos Tecnológicos y Logísticos .....	41
3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación.....	42
3.4.1. Métodos.....	42
3.4.2. Técnicas .....	43
3.4.3. Instrumentos.....	43
3.4.4. Fórmulas para utilizar .....	43
3.4.5. Proceso para la Obtención de la Fibra de Coco .....	46
3.4.6. Proceso para la obtención de la ceniza del bagazo de caña de azúcar .....	47
Capítulo 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	49
4.1. Análisis granulométrico .....	50

4.2. Ensayo del contenido de Humedad .....	51
4.3. Ensayo de Absorción .....	52
4.3.1. Agregado Fino.....	52
4.3.2. Agregado Grueso .....	53
4.4. Dosificaciones Aplicadas a Cada Mezcla.....	54
4.4.1. Hormigón base f'c 210 (kg/cm <sup>2</sup> ) .....	54
4.4.2. Hormigón con 1% Ceniza y 4% Coco (Kg/Cm <sup>2</sup> ) .....	56
4.4.3. Hormigón con 2.5% Ceniza y 2.5% Coco (Kg/Cm <sup>2</sup> ) .....	58
4.4.4. Hormigón con 4% Ceniza y 1% Coco (Kg/Cm <sup>2</sup> ) .....	60
4.5. Ensayos de compresión .....	62
4.5.1. Hormigón Base F'c 210 (Kg/Cm <sup>2</sup> ).....	62
4.5.2. Hormigón con 1% Ceniza y 4% Coco (Kg/Cm <sup>2</sup> ) .....	63
4.5.3. Hormigón con 2.5% Ceniza y 2.5% Coco (Kg/Cm <sup>2</sup> ) .....	64
4.5.4. Hormigón con 4% Ceniza y 1% Coco (Kg/Cm <sup>2</sup> ) .....	65
4.6. Comparación de Resultados .....	72
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones .....	73
5.1. Conclusiones.....	73
5.2. Recomendaciones .....	75
ANEXOS.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y Desventajas de los materiales .....	15
Tabla 2 Propiedades estructurales de la fibra de Coco .....	26
Tabla 3 Propiedades estructurales del Bagazo de Caña de Azúcar .....	29
Tabla 4 Granulometría del agregado grueso y fino .....	50
Tabla 5 Ensayo de humedad agregado grueso y fino .....	51
Tabla 6 Resultados del Agregado Fino .....	53
Tabla 7 Resultado Agregado Grueso .....	54
Tabla 8 Análisis del Hormigón Base .....	54
Tabla 9 Dosificación para el cilindro de ensayo.....	55
Tabla 10 Mezcla utilizada para la fabricación de 9 cilindros .....	56
Tabla 11 Dosificación para Cilindro.....	57
Tabla 12 Mezcla utilizada para cilindros.....	58
Tabla 13 Componentes para Cilindro de ensayo .....	59
Tabla 14 Mezcla utilizada para Hormigón con 4% y 1% de coco .....	60
Tabla 15 Dosificación para cilindro de ensayo .....	61
Tabla 16 Ensayos a compresión de cilindros de hormigón .....	62
Tabla 17: Hormigón base f'c 210.....	81
Tabla 18: Ensayos de resistencia a compresión a la edad de 14 días (hormigón base f'c 210)	81

Tabla 19: Ensayos de resistencia a compresión a la edad de 28 días .....	82
Tabla 20: Resistencia a compresión del hormigón con 1% ceniza y 4% coco (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 7 días .....	82
Tabla 21: Hormigón con 1% ceniza y 4% coco (kg/cm <sup>2</sup> ), a los 14 días.....	83
Tabla 22: Resistencia a compresión del hormigón con 1% ceniza y 4% coco (kg/cm <sup>2</sup> ), a los 28 días .....	83
Tabla 23: Resistencia a compresión del hormigón con 2.5% ceniza y 2.5% coco (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 7 días .....	84
Tabla 24: Resistencia a compresión del hormigón con 2.5% ceniza y 2.5% coco (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 14 días .....	84
Tabla 25: Resistencia a compresión del hormigón con 2.5% ceniza y 2.5% coco (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 28 días .....	85
Tabla 26: Resistencia a compresión del hormigón con 4% ceniza y 1% coco (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 7 días .....	85
Tabla 27: Resistencia a compresión del hormigón con 4% ceniza y 1% coco (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 14 días .....	86
Tabla 28: Resistencia a compresión del hormigón con 4% ceniza y 1% coco (kg/cm <sup>2</sup> ) a los 28 días .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fibras de Coco .....	17
Figura 2 Cenizas de bagazo de caña de azúcar .....	18
Figura 3 Ciclo de vida de un Material Sostenible en la Construcción .....	20
Figura 4 Curva granulométrica de agregado .....	51
Figura 5 Ensayo a compresión, Hormigón Base .....	62
Figura 6 En sayo a compresión, Hormigón con 1% de ceniza y 4% de coco .....	63
Figura 7 Ensayo a compresión, Hormigón con 2,5% ceniza y 2,5% coco .....	64
Figura 8 Ensayo a compresión, Hormigón con 4% y 1% coco .....	65
Figura 9 Compresión del Hormigón adicionando ceniza y fibra de coco .....	72
Figura 10 Datos obtenidos del ensayo a compresión de los cilindros a la edad de 7 días .....	87
Figura 11 Datos obtenidos del ensayo a compresión de los cilindros a la edad de 14 días .....	88
Figura 12 Datos obtenidos del ensayo a compresión de los cilindros a la edad de 7 días .....	89

## CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

En la búsqueda constante por soluciones que no solo respondan a las necesidades estructurales de la construcción, sino que también aborden los desafíos ambientales urgentes, surge un enfoque innovador: el uso de materiales reciclables para mejorar las propiedades del hormigón. En este contexto, fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar se presentan como ingredientes prometedores. Estos materiales, habitualmente descartados como residuos agrícolas, ahora se perfilan como pilares de una construcción más sostenible y resistente.

Imaginen un futuro donde cada edificación no solo proteja y sostenga, sino que también contribuya activamente a la reducción de la huella de carbono. Este estudio se adentra en ese terreno, explorando cómo las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña, mediante sus propiedades únicas, pueden transformar la composición tradicional del hormigón. La fibra de coco, conocida por su resistencia y ligereza, y la ceniza de bagazo, rica en compuestos puzolánicos, ofrecen un potencial significativo para fortalecer y prolongar la vida útil de las estructuras, al tiempo que minimizan el impacto ambiental de su producción.

Pero más allá de las cifras y especificaciones técnicas, este estudio se sumerge en el corazón de la innovación ecológica. Desde los campos de cultivo hasta los laboratorios de investigación, cada paso hacia la creación de este nuevo tipo de hormigón refleja un compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia. La integración de estos materiales no solo promete mejorar la resistencia a la compresión del hormigón, sino que también abre las puertas a un modelo constructivo más ético y responsable, donde la renovación de recursos y la preservación del medio ambiente van de la mano.

En última instancia, este proyecto no solo aspira a redefinir los estándares de la construcción moderna, sino también a inspirar un cambio más amplio en la industria. Al destacar los beneficios económicos, ambientales y estructurales de estas innovaciones, se espera

no solo convencer, sino también motivar a otros investigadores, profesionales del sector y responsables de políticas a adoptar prácticas más sostenibles y avanzadas. Este es el comienzo de un viaje hacia un futuro donde la construcción no solo edifica, sino que también conserva y protege nuestro entorno global.

### **1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta el desafío urgente de reducir su huella de carbono y promover prácticas sostenibles que mitiguen el impacto ambiental global (Hawken, 2017; IPCC, 2021). En este contexto, el uso de materiales reciclables y renovables en la fabricación de hormigones emerge como una solución prometedora para mejorar tanto la durabilidad estructural como la sostenibilidad ambiental (Ramezani pour et al., 2018; Mindess et al., 2020).

El hormigón convencional, basado principalmente en cemento Portland, es responsable de una significativa cantidad de emisiones de dióxido de carbono durante su producción (Scrivener et al., 2018). Por otro lado, la incorporación de adiciones puzolánicas como las cenizas de bagazo de caña de azúcar ha demostrado ser efectiva en la mejora de las propiedades mecánicas y ambientales del hormigón, al tiempo que reduce la cantidad de cemento necesario (Jiang et al., 2019; Ali et al., 2020).

Las fibras naturales, como las fibras de coco, son reconocidas por su capacidad para mejorar la tenacidad y la resistencia a la fisuración del hormigón, actuando como refuerzos estructurales que reducen la necesidad de otros materiales más intensivos en carbono (Safiuddin et al., 2019; Pacheco-Torgal et al., 2021). Estas fibras no solo ofrecen ventajas mecánicas, sino que también promueven la economía circular al aprovechar subproductos agrícolas que de otro modo podrían ser desechados (Kumar et al., 2020).

Sin embargo, a pesar de estas ventajas, la adopción generalizada de hormigones con fibras de coco y cenizas de bagazo de caña de azúcar sigue siendo limitada. Esto se debe en parte a la falta de estudios exhaustivos que evalúen de manera integral su desempeño bajo condiciones específicas de uso y en diferentes entornos ambientales (Mohammed et al., 2022). Además, persisten retos técnicos relacionados con la durabilidad y la compatibilidad de estos materiales con las prácticas constructivas convencionales (Sathiparan et al., 2023).

Por lo tanto, esta investigación se centra en abordar estas lagunas mediante la evaluación experimental del comportamiento del hormigón reforzado con fibras de coco y cenizas de bagazo de caña de azúcar. Se busca determinar cómo estas adiciones afectan la resistencia a la compresión, la durabilidad y otras propiedades críticas del hormigón, utilizando métodos estandarizados como los especificados por la norma ASTM C39/C39M (ASTM International, 2020). Este estudio no solo contribuirá al conocimiento científico sobre materiales sostenibles en la construcción, sino que también proporcionará directrices prácticas para su implementación efectiva en proyectos reales de infraestructura (Malhotra & Mehta, 2016; ACI Committee, 2019).

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye la incorporación de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión y la sostenibilidad del hormigón en comparación con el hormigón convencional?

### **1.2.1 Preguntas Accesorias**

¿Cómo afecta la adición de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar al proceso de curado y al desarrollo de la resistencia del hormigón a lo largo del tiempo?

¿Cómo se compara la resistencia a la compresión del hormigón modificado con fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar frente al hormigón convencional?

¿Qué efectos tienen las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar en la durabilidad del hormigón bajo diferentes condiciones ambientales?

¿Cuáles son las implicaciones de usar fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar en la reducción de la huella de carbono del ciclo de vida del hormigón?

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Determinar la resistencia a compresión del hormigón mediante ensayos en mezclas de diferentes composiciones, utilizando fibras de coco y cenizas de bagazo de caña de azúcar como aditivos alternativos.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

Identificar por medio de la literatura académica las propiedades de las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar que influyen en el hormigón para mejorar su resistencia.

Comprobar la resistencia a compresión del hormigón mediante el diseño de mezclas con diferentes dosificaciones de bagazo de caña y fibra de coco, con el fin de mejorar la sostenibilidad de los materiales de construcción.

Analizar el impacto de la incorporación de fibras de coco y cenizas de bagazo de caña de azúcar en las propiedades del hormigón, para contribuir a la economía local, reducir la contaminación y fomentar la reutilización de materiales primas en la construcción.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

La adición de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar en la mezcla de hormigón mejorará significativamente su resistencia a la compresión.

### 1.4.2. Hipótesis Específicas

La incorporación de un 10% de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar, con relación al peso de un saco de cemento, aumentará la resistencia a la compresión del hormigón por encima de los 210 kg/cm<sup>2</sup>, conforme a los estándares ASTM C39/C39M.

## 1.5. Alcance y Limitaciones

En cualquier investigación, definir el alcance y las limitaciones es esencial para proporcionar un marco claro y gestionar las expectativas. El alcance de este estudio sobre el uso de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar en el hormigón incluirá la evaluación de propiedades específicas del hormigón mejorado, las condiciones experimentales y los métodos de análisis empleados. Este enfoque permitirá identificar las ventajas económicas y ambientales de estos materiales en comparación con los tradicionales, estableciendo una base clara para los objetivos del estudio. A continuación, se explica a detalle el alcance:

**Evaluación Integral de Materiales:** La investigación explorará a fondo cómo la adición de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar puede transformar el hormigón tradicional en un material más robusto y sostenible, con un enfoque experimental riguroso, se fabricarán cilindros de hormigón que serán sometidos a pruebas de resistencia a la compresión. Este enfoque permitirá obtener datos detallados sobre cómo estos materiales innovadores afectan las propiedades mecánicas del hormigón.

**Análisis de Proporciones y Curado:** Determinar la proporción óptima de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar es crucial para maximizar los beneficios. La

investigación también evaluará el impacto del tiempo de curado (7, 14 y 28 días) en las propiedades del hormigón, proporcionando una visión clara de cómo estos materiales interactúan con el cemento y los agregados a lo largo del tiempo.

**Comparación con Hormigón Convencional:** Un componente clave del estudio es la comparación del hormigón modificado con el hormigón convencional. Esta comparación ofrecerá una perspectiva valiosa sobre la viabilidad y las ventajas de utilizar materiales reciclados, mostrando si realmente pueden mejorar las características del hormigón sin comprometer su integridad estructural.

**Estudio de Viabilidad Económica y Ambiental:** Más allá de las propiedades mecánicas, la investigación evaluará la viabilidad económica y los beneficios ambientales del uso de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar. Este análisis incluirá un estudio de costos y un examen de cómo estos materiales pueden contribuir a la sostenibilidad, reduciendo la huella ambiental de la construcción.

Respecto a las limitaciones, reconocerlas es crucial puesto que pueden derivar de la disponibilidad y consistencia de los materiales reciclados, las condiciones controladas de los experimentos que pueden no reflejar plenamente las condiciones reales de construcción, y la escalabilidad del proceso de producción de hormigón modificado. Reconocer estas restricciones no solo añade transparencia a la investigación, sino que también proporciona una base para futuras investigaciones que puedan abordar estos desafíos y ampliar los hallazgos. A continuación, se explica a detalle cada una de las limitaciones encontradas:

**Disponibilidad y Calidad de Materiales:** La investigación podría enfrentar desafíos relacionados con la disponibilidad y calidad de las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar. La variabilidad en las características de estos materiales puede influir en la

consistencia de los resultados, planteando preguntas sobre su fiabilidad en aplicaciones a gran escala.

**Condiciones Experimentales Controladas:** Si bien los ensayos se realizarán en un entorno controlado, las condiciones reales de la construcción pueden diferir significativamente. Factores como el clima, la técnica de aplicación y la calidad de los insumos pueden afectar el rendimiento del hormigón modificado, lo que requerirá validaciones adicionales en condiciones de campo.

**Escalabilidad del Proceso:** La integración de estos materiales reciclados en la producción de hormigón a gran escala podría presentar desafíos logísticos y operativos. La industria de la construcción tendría que adaptarse a nuevos métodos y materiales, lo que podría implicar cambios significativos en la cadena de suministro y los procesos de producción.

**Evaluación a Largo Plazo:** Aunque el estudio se centrará en la resistencia a corto y mediano plazo del hormigón modificado, la evaluación de su durabilidad a largo plazo bajo diversas condiciones de carga y ambientales aún será necesaria. Investigaciones futuras serán esenciales para confirmar la sostenibilidad y la efectividad del hormigón modificado en aplicaciones de larga duración.

## CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

### 2.1. Contexto del Estudio

El uso de materiales sostenibles en la construcción es un aspecto crucial para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia de los procesos constructivos. Es así que en la actualidad se ha buscado alternativas que disminuyan la huella ecológica del concreto como por ejemplo las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar.

El hormigón, es uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial. Sin embargo, su producción tiene un impacto significativo en el medio ambiente debido a la alta emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante la fabricación del cemento, Por lo tanto, es imperativo explorar y adoptar alternativas sostenibles para mitigar estos efectos.

A continuación, se explican algunos beneficios que trae el uso de materiales reciclados con el hormigón y otros materiales de construcción; específicamente trataremos a las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar:

***Reducción del Impacto Ambiental:*** La producción de hormigón contribuye aproximadamente al 8% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, investigaciones han demostrado que el uso de aditivos como las cenizas del bagazo de caña de azúcar puede reducir significativamente la cantidad de cemento necesario, lo que a su vez disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su producción (Tripathy & Acharya, 2022). Esto es una gran contribución a la disminución del impacto ambiental, puesto que el CO<sub>2</sub> es perjudicial para la salud respiratoria del ser humano, acidifica los océanos y afecta a los cambios climáticos.

***Beneficios Económicos:*** El uso de materiales reciclados o de origen agrícola, como las fibras de coco, resultan ser más económicos en comparación con los materiales tradicionales. Esto no solo beneficia al medio ambiente, sino que también ofrece ventajas económicas para

los proyectos de construcción. (Oladele, Adelani, & Makinde-Isola, 2022). Sin duda alguna este es un gran aporte, puesto que en la actualidad las personas buscan en el mercado opciones más económicas, pero al mismo tiempo requiere que los objetos guarden su función y sean de buena calidad.

Los beneficios antes explicados demuestran que el uso de materiales reciclados puede ser de gran utilidad en el medio de la construcción y un buen negocio de inversión. Sin duda alguna la determinación de una dosificación adecuada para hormigón que incorpore fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar puede mejorar la resistencia a la compresión y ofrecer soluciones sostenibles para la industria de la construcción. A continuación, se explican otras ventajas y también se incluyen algunas desventajas a considerar:

*Tabla 1 Ventajas y Desventajas de los materiales*

<b>Material</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Referencias</b>
Hormigón	Alta resistencia, disponibilidad global	Alta emisión de CO <sub>2</sub> , alto costo	International Energy Agency, 2021
Fibras de Coco	Mejora ductilidad, bajo costo, sostenible	Variabilidad en propiedades	(Ganesan, Rajagopal, & Thangavel, Coconut fibre reinforced concrete, 2018)
Cenizas del Bagazo	Reducción de emisiones, mejora en durabilidad	Necesidad de optimización de mezclas	(Sharma, Sharma, & Singh, 2021) en <i>ugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in concrete: A review</i> , 2021)

*Recuperado : de datos obtenidos de International Energy Agency (2021), Ganesan, Rajagopal y Thangavel (2018), y Sharma, Sharma y Singh (2021).*

## 2.2. Relevancia del Estudio

La importancia de este estudio se encuentra en que el uso de materiales sostenibles y reciclables en la construcción ha ganado un gran interés en la última década, dado el impacto ambiental que tiene la producción tradicional de hormigón. Investigaciones recientes han explorado el potencial de fibras naturales, como las fibras de coco, y subproductos agrícolas, como las cenizas del bagazo de caña de azúcar, como componentes que no solo mejoran las propiedades del hormigón, sino que también contribuyen a la reducción de la huella de carbono.

Las fibras de coco han demostrado ser un material prometedor debido a sus propiedades mecánicas, como la alta resistencia a la tracción y su capacidad para mejorar la ductilidad del hormigón. Un estudio de (Mohammed, y otros, 2022) indicó cómo la adición de estas fibras puede mejorar significativamente la resistencia del hormigón a la fisuración. Esto no solo ayuda a reducir la cantidad de materiales más intensivos en carbono, sino que también mejora la durabilidad del hormigón.

Por otro lado, las cenizas de bagazo de caña de azúcar son ricas en compuestos puzolánicos, que tienen la capacidad de reaccionar con el hidróxido de calcio en la mezcla de hormigón, mejorando la resistencia a largo plazo del material. Según el mismo estudio del IJCRT, la incorporación de estas cenizas en el hormigón permite una reducción significativa en el uso de cemento Portland, disminuyendo así las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la producción. Además, esta práctica contribuye a una gestión más eficiente de los residuos agrícolas, promoviendo un ciclo de vida más sostenible para los materiales de construcción.

La innovación de este estudio radica en la posibilidad de combinar estas dos innovaciones para desarrollar un hormigón que no solo sea más resistente, sino que también sea más sostenible. Además, la investigación puede contribuir a un cambio en las prácticas

constructivas, promoviendo el uso de materiales locales y reciclables que podrían transformar la industria de la construcción hacia un modelo más ecológico y responsable.

### 2.3. Uso de Materiales Sostenibles en Construcción

El uso de materiales sostenibles en la construcción ha emergido como una respuesta crucial a los desafíos ambientales contemporáneos. Según Green (2020), la industria de la construcción es responsable de una parte significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos naturales, motivando la búsqueda de alternativas más ecológicas y eficientes. En este contexto, el empleo de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar en el hormigón ha ganado atención por su capacidad para mejorar las propiedades del material sin comprometer su sostenibilidad.



*Figura\_1\_Fibras\_de\_Coco*

*Recuperado de: Google. (sf) <https://images.app.goo.gl/ZmXcnU63yR1NF2a78>*

Investigaciones previas han indicado que las fibras de coco pueden actuar como refuerzo natural en el hormigón, mejorando su resistencia a la tracción y resistencia a la fisuración (Oliveira, Teixeira, & Silva, 2019). Estudios experimentales han demostrado que la adición de fibras de coco en diferentes proporciones puede aumentar significativamente la ductilidad y la tenacidad del hormigón, lo cual es crucial para aplicaciones estructurales (Ganesan, Rajagopal, & Thangavel, 2018). Además, la utilización de cenizas del bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento ha mostrado efectos positivos en la reducción de la demanda

energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la producción de hormigón (Sharma, Sharma, & Singh, 2021).



*Figura 1 Cenizas de bagazo de caña de azúcar*

*Recuperado de: <https://cenizasdebagazosdecanadeazucar.blogspot.com/2016/>*

Un aspecto destacado de estos materiales es su capacidad para mejorar la sostenibilidad del hormigón. Según Sharma y Singh (2020), el uso de cenizas del bagazo no solo proporciona una disposición adecuada de residuos agrícolas, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono del hormigón. Además, la integración de estos materiales en la construcción puede promover prácticas más responsables y alinear los proyectos con los estándares de certificación ambiental, como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).

#### **2.4. Definición de sostenibilidad en la construcción**

La sostenibilidad en la construcción se refiere al desarrollo de prácticas y la utilización de materiales que reducen el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de una edificación. Esto incluye la elección de materiales que minimicen el consumo de recursos naturales, reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, y promuevan la reutilización y el reciclaje. Según Brundtland (1987), en su informe "Nuestro Futuro Común" para la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, el concepto de sostenibilidad implica satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas.

En la actualidad existen varios ejemplos de sostenibilidad en la construcción como por ejemplo: el uso de técnicas de construcción pasiva, que aprovechan la luz natural y la ventilación cruzada, la cual disminuye la huella de carbono o la integración de sistemas de energía renovable. Estos aportes indican y demuestran que se puede crear sostenibilidad en el campo de la construcción y aportar en gran manera a la sociedad, es por eso tan importante la investigación de este trabajo.

## **2.5. Criterios para Considerar un Material como Sostenible**

Para que un material sea considerado sostenible en el ámbito de la construcción, debe cumplir con ciertos criterios clave, los cuales se analizan a continuación:

**Eficiencia en el Uso de Recursos:** Un material sostenible debe optimizar el uso de recursos naturales, lo que incluye tanto la energía necesaria para su extracción y procesamiento como los recursos materiales en sí mismos. El autor Kibert (2016) en su libro *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery* menciona que los materiales que requieren menos energía en su producción y que provienen de fuentes renovables son fundamentales para la construcción sostenible.

**Baja Emisión de CO<sub>2</sub>:** La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> durante la producción, transporte, y puesta en obra es un criterio esencial. El Profesor de Ingeniería Civil y Ambiental Horvath Arpad indico en sus trabajos el impacto del ciclo de vida de los materiales de construcción y subrayó la importancia de evaluar el impacto ambiental de los materiales desde su fabricación hasta su disposición final.

**Durabilidad y Longevidad:** Los materiales sostenibles deben ser duraderos, reduciendo la necesidad de reemplazo y, por ende, minimizando el uso de nuevos recursos. Ashby (2012) en su trabajo denominado *Materials and the Environment: Eco-Informed*

Material Choice argumentó que la durabilidad de los materiales es crucial para disminuir el impacto ambiental a largo plazo.

**Capacidad de Reciclaje y Reutilización:** Otra característica importante es que los materiales puedan ser reciclables o reutilizables al final de su vida útil, cerrando el ciclo de materiales y minimizando los desechos. Addis (2006), en su estudio sobre la reutilización de materiales de construcción, resalta que los materiales que pueden ser reciclados o reutilizados contribuyen significativamente a la sostenibilidad.

## 2.6. Ciclo de vida de un Material Sostenible en la Construcción



*Figura 2 Ciclo de vida de un Material Sostenible en la Construcción*

Recuperado de : Google. (sf). <https://images.app.goo.gl/1qG8Cwpi13htmdLz9>

El ciclo de vida de los materiales es un concepto fundamental en la evaluación de sostenibilidad en proyectos de construcción, como el desarrollo de mezclas de hormigón con aditivos innovadores (Bribián, Capilla, & Usón, 2011). Este enfoque permite analizar el impacto ambiental de cada material, desde la extracción de materias primas como el coco y la caña de azúcar, hasta su disposición final después del uso. Evaluar el ciclo de vida en este

estudio es crucial para comprender no solo la resistencia y durabilidad del hormigón mejorado, sino también su eficiencia en el uso de recursos, reduciendo la huella ecológica en comparación con materiales convencionales.

En este contexto, cada etapa del ciclo de vida de los materiales utilizados en el hormigón, como las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar, es vital para determinar su impacto ambiental y su eficacia en la mejora de la resistencia a la compresión. Por ejemplo, la extracción y procesamiento de estas materias primas agrícolas deben ser sostenibles, reduciendo la necesidad de recursos adicionales y minimizando los desechos. La incorporación de estos subproductos agrícolas en la mezcla de hormigón también contribuye a la economía circular, evitando que terminen como residuos y dándoles un nuevo valor en la construcción (Pacheco-Torgal, Cabeza, Labrincha, & Magalhães, 2013)

La importancia de este ciclo radica en su capacidad para identificar mejoras en la sostenibilidad de la mezcla de hormigón propuesta. Al analizar cada fase, es posible optimizar el uso de las fibras de coco y las cenizas de bagazo de caña de azúcar, no solo para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón, sino también para reducir el impacto ambiental en todo el ciclo de vida del material. Esto incluye desde la reducción de emisiones durante la fabricación hasta la mejora en la gestión de desechos, promoviendo prácticas de construcción más sostenibles y eficientes (Silva, de Brito, & Dhir, 2017)

## **2.7. Beneficios Generales**

La incorporación de materiales alternativos como las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar en la mezcla de hormigón tiene varios beneficios generales, especialmente en la reducción del impacto ambiental y la mejora de la eficiencia en la construcción. Estos beneficios pueden ser esenciales no solo para avanzar en la sostenibilidad de los materiales de construcción, sino también para mejorar el rendimiento de las estructuras.

**Reducción del Impacto Ambiental:** El uso de subproductos agrícolas como las fibras de coco y las cenizas de bagazo de caña de azúcar contribuye significativamente a la reducción del impacto ambiental. Estos materiales, que de otro modo serían considerados residuos, son reutilizados de manera efectiva en la construcción, lo que disminuye la cantidad de desechos sólidos y la necesidad de nuevas materias primas. Al integrarlos en el hormigón, se evita la extracción de recursos no renovables como la arena y la grava, reduciendo así la degradación de los ecosistemas naturales. Además, al ser materiales orgánicos, las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar poseen una huella de carbono considerablemente más baja que los componentes tradicionales del hormigón, contribuyendo a una menor emisión de gases de efecto invernadero (Pacheco-Torgal & Jalali, 2011)

**Mejora de la Eficiencia en la Construcción:** La eficiencia en la construcción también se ve mejorada mediante el uso de estos materiales alternativos. Las fibras de coco, por ejemplo, pueden mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, aumentando su resistencia a la tracción y la flexión, lo que a su vez prolonga la vida útil de las estructuras y reduce la necesidad de mantenimiento frecuente (Ali, Liu, Sou, & Chouw, 2012). Por otro lado, las cenizas del bagazo de caña de azúcar actúan como una puzolana, mejorando la resistencia a la compresión del hormigón y aumentando su durabilidad (Sivakumar & Gomathi, 2019). Esto no solo optimiza el rendimiento estructural, sino que también reduce el costo total de la construcción al disminuir la cantidad de cemento necesario y, por ende, los costos asociados a la producción y transporte de materiales (Meyer, 2009).

En conjunto, estos beneficios demuestran que la incorporación de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar en el hormigón no solo es una alternativa viable para mejorar el rendimiento técnico del material, sino también una estrategia efectiva para fomentar la sostenibilidad en la industria de la construcción.

## 2.8. Tendencias y Aplicaciones Actuales

La creciente demanda por certificaciones de construcción sostenible como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ha fomentado la adopción de materiales sostenibles. Las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar son particularmente valoradas por su baja huella de carbono y sus beneficios mecánicos. Por ejemplo, González y Calderón (González & Calderón, 2020) señalan que estos materiales ayudan a mejorar los puntajes de sostenibilidad en proyectos certificados.

Diversos gobiernos están implementando políticas para incentivar el uso de materiales sostenibles en la construcción de infraestructuras públicas, países como Brasil y la India están liderando iniciativas que promueven el uso de cenizas del bagazo en proyectos de infraestructura urbana.

Investigadores como Pacheco-Torgal, F,& Jalali, S. (2011) están desarrollando nuevas fórmulas que incorporan fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar para mejorar la resistencia a la compresión y durabilidad del hormigón. Estas investigaciones han demostrado que la adición de estos materiales no solo mejora las propiedades mecánicas del hormigón, sino que también reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción de cemento.

Actualmente diferentes empresas en todo el mundo están invirtiendo en la creación de productos prefabricados utilizando estos materiales, incluso la impresión 3D está revolucionando la industria de la construcción, y los materiales como el hormigón con fibras de coco y cenizas del bagazo están siendo explorados por su bajo costo y alta disponibilidad.

En regiones como Asia y África, las fibras de coco y cenizas del bagazo se utilizan en la construcción de viviendas de bajo costo. Estos materiales han permitido reducir costos en un 10-15% sin comprometer la calidad estructural. Proyectos en áreas rurales de la India han beneficiado a comunidades locales al utilizar materiales disponibles localmente.

Documentando cómo estas prácticas han mejorado las condiciones de vida y reducido los costos de construcción en comunidades rurales.

## **2.9. Propiedades y Beneficios de las Fibras de Coco**

Las fibras de coco han ganado reconocimiento como un material sostenible y prometedor en diversas aplicaciones industriales, incluida la construcción. Según Oliveira, Teixeira, & Silva (2019), las fibras de coco se destacan por su alta resistencia mecánica y su capacidad para mejorar las propiedades del hormigón al ser utilizadas como refuerzo. Estas fibras son extraídas de la cáscara del coco, un subproducto agrícola abundante en regiones tropicales, lo que las convierte en una opción económica y ecológica para mejorar la sostenibilidad de los materiales de construcción (Ganesan, Rajagopal, & Thangavel, 2018)

Por otra parte, el estudio de Ganesan et al. (2018) destaca que las fibras de coco ofrecen beneficios significativos, como una mejor resistencia a la tracción y una reducción en la propagación de grietas en el hormigón, lo que puede prolongar la vida útil de las estructuras. Además, la investigación ha demostrado que las fibras de coco son compatibles con varios sistemas de cemento y pueden mejorar la ductilidad del hormigón, aumentando su capacidad para absorber energía antes de la falla (Sharma et al., 2021).

El uso de fibras de coco también se ha explorado en aplicaciones más allá del hormigón, como en paneles de construcción y materiales compuestos. Según Green et al. (2020), estas fibras pueden actuar como un refuerzo natural en matrices poliméricas, proporcionando una alternativa biodegradable y de bajo costo a los refuerzos sintéticos convencionales. Esta versatilidad en el uso de las fibras de coco promueve su adopción en diversas industrias, destacando su potencial para reducir la huella ambiental y mejorar la eficiencia de los materiales de construcción (Sharma & Singh, 2020).

La investigación también ha abordado la influencia de factores como el contenido de fibra, la orientación y la dispersión dentro de la matriz de cemento en las propiedades finales del material compuesto. Estudios como el de Oliveira et al. (2019) han identificado que el tratamiento de las fibras de coco, como el pretratamiento alcalino, puede mejorar la adhesión entre la fibra y la matriz de cemento, optimizando así la resistencia y durabilidad del material compuesto resultante.

La resistencia a la corrosión de las fibras de coco y su comportamiento frente a ambientes agresivos también han sido áreas de interés. Investigaciones como las de Sharma et al. (2021) han evaluado la resistencia del hormigón reforzado con fibras de coco a ambientes marinos y condiciones de sulfato, destacando su capacidad para mitigar los efectos de deterioro frente a estos agentes corrosivos. Este aspecto es crucial para aplicaciones de infraestructura expuestas a condiciones ambientales severas (Green et al., 2020).

Además de sus propiedades físicas y mecánicas, las fibras de coco presentan beneficios ambientales significativos. La utilización de estos materiales naturales reduce la dependencia de recursos no renovables y minimiza la generación de residuos agrícolas, alineándose con principios de economía circular y sostenibilidad (Sharma & Singh, 2020). Este enfoque hacia la ecoeficiencia y la reducción de la huella de carbono impulsa la investigación continua y la innovación en el desarrollo de materiales de construcción más sostenibles y resilientes.

En resumen, los estudios previos subrayan las fibras de coco como un recurso valioso para mejorar las propiedades y la sostenibilidad de los materiales de construcción. Su capacidad para fortalecer el hormigón, reducir costos e impactos ambientales, y mejorar la durabilidad hace de las fibras de coco una opción prometedora en la búsqueda de soluciones constructivas más eficientes y ecológicas.

### 2.9.1. Características físicas y mecánicas

Las fibras de coco, también conocidas como coir, son un subproducto natural obtenido de la cáscara del coco. Estas fibras han sido ampliamente estudiadas por sus propiedades físicas y mecánicas, que las hacen adecuadas para su uso en diversas aplicaciones, incluida la construcción de hormigón. A continuación, se detalla su composición:

*Tabla 2 Propiedades estructurales de la fibra de Coco*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Ph	4.7 a 6.6
Conductividad eléctrica (ms/cm)	650
Densidad relativa (agua=1 g/cm <sup>3</sup> )	1.3
Elongamiento en la ruptura (%)	23.9 a 51.4
Módulo de elasticidad (MPa)	95 a 118
Conductividad térmica (w/mk)	<b>0.043 a 0.045</b>

*Recuperado de : Montañez P., A. L., & Uzcátegui, I. (2009). Utilización de la fibra de coco como sustituto del amianto en los procesos industriales. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.*

El uso de fibras de coco en hormigón presenta varios beneficios en términos de mejoras mecánicas y estructurales. Las mismas están compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa, lignina y una pequeña cantidad de pectina. La celulosa proporciona resistencia y rigidez a las fibras, mientras que la lignina contribuye a su elasticidad y durabilidad. La densidad de las fibras de coco varía entre 1.15 a 1.46 g/cm<sup>3</sup>. Estas fibras presentan una longitud promedio de 15-30 cm y un diámetro que oscila entre 0.1 y 0.5 mm. Las fibras de coco tienen una resistencia a la tracción que varía entre 131 a 175 MPa, lo que las convierte en un material ideal para reforzar compuestos de cemento y mortero.

Al mencionar estas características, se verifica que la incorporación de fibras de coco en el hormigón aumenta su capacidad de deformarse antes de fracturarse. Esto es debido a la naturaleza elástica de las fibras que proporciona una mayor capacidad de absorción de energía en el material compuesto.

Además, las fibras de coco actúan como puentes en la microfisuración del hormigón, limitando la propagación de fisuras y, por tanto, mejorando la durabilidad del material. Investigaciones han demostrado que la adición de fibras naturales puede reducir significativamente la longitud y anchura de las fisuras en el hormigón.

Por otro lado, la resistencia a tracción del hormigón, lo que mejora su capacidad para resistir fuerzas de tensión sin fracturarse. Estudios han mostrado que el hormigón reforzado con fibras de coco presenta un aumento en la resistencia a tracción de hasta un 20% en comparación con el hormigón tradicional.

## **2.10. Cenizas del Bagazo de Caña de Azúcar como Aditivo**

Las cenizas del bagazo de caña de azúcar han captado considerable atención como aditivo en la industria del hormigón debido a su potencial para mejorar significativamente las propiedades mecánicas, ambientales y económicas del material. Este subproducto derivado de la combustión del bagazo de caña en las plantas azucareras contiene una alta proporción de sílice amorfa y otros compuestos que exhiben propiedades puzolánicas, lo cual permite su uso como un sustituto parcial del cemento Portland en la producción de hormigón (Sharma, Sharma, & Singh, 2021).

El empleo de cenizas de bagazo de caña como aditivo en hormigón presenta múltiples ventajas. Primero, su incorporación puede reducir la cantidad de cemento requerida, lo que no solo disminuye los costos de producción, sino que también contribuye significativamente a la reducción de emisiones de dióxido de carbono asociadas con la fabricación de cemento

Portland. Esta reducción en la huella de carbono es fundamental en el contexto actual de cambio climático y creciente conciencia ambiental (Sharma, Sharma, & Singh, 2021).

Investigaciones han demostrado que la adición de cenizas de bagazo de caña mejora la resistencia a la compresión del hormigón, especialmente a edades tempranas, lo cual es crucial para la durabilidad y la eficiencia estructural de las construcciones. Además, estas cenizas actúan como relleno inerte y contribuyen a reducir la retracción plástica y la permeabilidad del hormigón, lo que conduce a una mayor durabilidad y resistencia a la corrosión de las armaduras internas (Bilba & Arsène, 2008).

Desde una perspectiva ambiental y de sostenibilidad, el uso de cenizas de bagazo de caña en el hormigón permite la gestión eficiente de un residuo agrícola abundante y potencialmente problemático. La reutilización de estos subproductos no solo reduce la cantidad de desechos que terminan en los vertederos, sino que también ofrece una disposición ambientalmente responsable, alineándose con principios de economía circular y sostenibilidad en la construcción (Sharma, Sharma, & Singh, 2021).

Además de mejorar las propiedades físicas y ambientales del hormigón, las cenizas de bagazo de caña pueden influir positivamente en su comportamiento frente a ambientes agresivos. Investigaciones han revelado que estas cenizas pueden inhibir la penetración de cloruros en el hormigón, lo cual es crucial para estructuras expuestas a condiciones marinas o industriales corrosivas (Ramakrishna & Sundararajan, 2005).

Es esencial destacar que, aunque las cenizas de bagazo de caña ofrecen numerosos beneficios, es necesario realizar estudios adicionales para comprender completamente su comportamiento a largo plazo en diferentes condiciones climáticas y de exposición. La optimización de las técnicas de mezcla y proporciones es fundamental para maximizar los

beneficios potenciales de estos aditivos en la industria de la construcción (Sharma & Singh, 2020).

En resumen, las cenizas del bagazo de caña de azúcar representan una alternativa prometedora y sostenible como aditivo en la fabricación de hormigón. Su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas, reducir la huella de carbono y facilitar la gestión eficiente de residuos agrícolas posiciona a este material como un componente clave en la evolución hacia prácticas más sostenibles en la construcción.

### ***2.10.1. Características físicas y mecánicas***

Las cenizas del bagazo de caña de azúcar (CBCA) son un residuo generado tras la combustión del bagazo, un subproducto fibroso que queda después de extraer el jugo de la caña de azúcar. Este material ha ganado atención como aditivo en la construcción debido a sus propiedades puzolánicas y su potencial para mejorar las características del hormigón. A continuación, se detalla su composición:

*Tabla 3 Propiedades estructurales del Bagazo de Caña de Azúcar*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Celulosa	41,82
Hemicelulosa	26,85
Lignina	20,50
Extractivos	6,61
Cenizas	3,69

*Recuperado de: Resano, D., Guillen, O. W., Ubillús, F. D. R., & Barranzuela, J. L. (2022). Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción.*

Las cenizas del bagazo de caña de azúcar (CBCA) son un residuo generado tras la combustión del bagazo, un subproducto fibroso que queda después de extraer el jugo de la caña de azúcar. Este material ha ganado atención como aditivo en la construcción debido a sus propiedades puzolánicas y su potencial para mejorar las características del hormigón. Las

CBCA contienen una alta concentración de óxidos de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y calcio ( $\text{CaO}$ ), lo que les confiere propiedades puzolánicas. La puzolana es un material que, cuando se mezcla con cal en presencia de agua, forma compuestos cementantes. La densidad de las CBCA varía entre 2.1 y 2.4  $\text{g/cm}^3$ , y su tamaño de partícula suele ser fino, con una distribución granulométrica que favorece su uso como aditivo en mezclas de hormigón, por otro lado generalmente, las CBCA tienen una superficie específica de 200-300  $\text{m}^2/\text{kg}$ , lo que favorece la reactividad puzolánica.

La alta reactividad puzolánica de las CBCA se debe a su contenido de sílice amorfa, que reacciona con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando compuestos de silicato de calcio hidratado (C-S-H), los cuales son responsables de la ganancia de resistencia en el hormigón.

Las CBCA tienen un color gris oscuro a negro, dependiendo de la eficiencia de la combustión y del contenido de carbono residual. Su textura es generalmente fina y pulverulenta, lo que facilita su mezcla homogénea con otros componentes del hormigón.

El uso de las cenizas del bagazo de caña de azúcar como aditivo en el hormigón ofrece varios beneficios significativos que mejoran sus propiedades mecánicas y su durabilidad. Las CBCA contribuyen a la resistencia a la compresión del hormigón debido a su capacidad para participar en reacciones puzolánicas, formando compuestos C-S-H adicionales. Esto incrementa la densidad y cohesión interna del hormigón, mejorando su resistencia con el tiempo. La adición de CBCA al hormigón reduce su permeabilidad al sellar los poros capilares, lo que mejora la durabilidad del material al reducir la penetración de agentes agresivos como cloruros y sulfatos. El uso de CBCA en el hormigón no solo mejora sus propiedades mecánicas, sino que también representa una solución sostenible al reutilizar residuos agroindustriales, lo que puede reducir costos en la producción de hormigón.

## **2.11. Investigaciones Previas y Resultados Relevantes**

El desarrollo sostenible en la industria de la construcción ha impulsado la búsqueda de materiales alternativos que no solo mejoren las propiedades técnicas del hormigón, sino que también reduzcan su impacto ambiental. En este contexto, las cenizas del bagazo de caña de azúcar han emergido como un recurso prometedor. Provenientes de la quema del bagazo de caña, un subproducto de la industria azucarera, estas cenizas contienen componentes puzolánicos que pueden reemplazar parcialmente el cemento en la mezcla de hormigón.

Los estudios recientes han revelado una serie de beneficios asociados con el uso de cenizas del bagazo de caña en el hormigón, abarcando desde mejoras en la resistencia mecánica hasta avances en la durabilidad y la resistencia a condiciones ambientales adversas. Investigadores de diferentes partes del mundo han explorado diversas facetas de este material, cada uno aportando hallazgos significativos que amplían el conocimiento sobre su aplicabilidad y ventajas técnicas.

A lo largo de esta revisión, se presentarán los resultados clave de varios estudios relevantes. Desde mejoras en la resistencia a la compresión y la flexión, hasta avances en la resistencia al fuego y la corrosión, cada investigación aporta un elemento crucial para entender cómo las cenizas del bagazo de caña pueden transformar la industria del hormigón hacia prácticas más sostenibles y eficientes. A continuación, se presenta algunos casos investigados:

## **2.12. Contribuciones de las Cenizas del Bagazo de Caña de Azúcar al Hormigón**

Las investigaciones recientes han destacado las cenizas del bagazo de caña de azúcar como un componente prometedor para mejorar diversas propiedades del hormigón. Juárez, A y Morales, M. (2023) exploraron cómo estas cenizas pueden aumentar significativamente la resistencia a la compresión y la durabilidad del hormigón, dos aspectos fundamentales para estructuras expuestas a cargas pesadas y condiciones climáticas adversas. Este estudio subraya

la capacidad de las cenizas del bagazo de caña no solo para fortalecer el material, sino también para extender su vida útil bajo condiciones severas de uso.

Siguiendo esta línea, Rodríguez, Flores, y Ramírez (2022) investigaron el efecto de diferentes niveles de reemplazo de cemento por cenizas del bagazo de caña en la resistencia al sulfato y la resistencia a la flexión del hormigón. Sus resultados indican que las mezclas modificadas pueden mantener e incluso mejorar las propiedades mecánicas esenciales, lo cual es crucial para aplicaciones estructurales que requieren altos estándares de resistencia y durabilidad.

Además de mejorar la resistencia mecánica, las cenizas del bagazo de caña también ofrecen beneficios en términos de protección contra incendios, como reveló el estudio de Gutiérrez et al. (2021). Este trabajo sugiere que las cenizas pueden mejorar significativamente la resistencia al fuego del hormigón, abriendo nuevas posibilidades para su uso en infraestructuras donde la seguridad contra incendios es una prioridad.

En el ámbito ambiental, Pérez y Hernández (2020) evaluaron el impacto positivo de utilizar cenizas del bagazo de caña como reemplazo parcial del cemento, este enfoque no solo reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la producción de cemento, sino que también aprovecha residuos agrícolas, promoviendo prácticas más sostenibles en la construcción. Estos hallazgos son especialmente relevantes en un contexto donde la industria busca reducir su huella de carbono y adoptar materiales más ecológicos.

En cuanto a la resistencia a condiciones ambientales adversas, Martínez y Rodríguez (2019) investigaron cómo las cenizas del bagazo de caña mejoran la adherencia y la resistencia a la abrasión del hormigón. Este estudio destaca la capacidad de las cenizas para fortalecer la durabilidad del material, crucial para infraestructuras expuestas a desgaste físico y climático severo.

Para entornos corrosivos, López, Martínez y Pérez (2018) exploraron tratamientos superficiales de las cenizas del bagazo de caña que mejoran la resistencia química del hormigón. Este enfoque innovador podría expandir significativamente las aplicaciones del hormigón en industrias como la petroquímica y la minería, donde la resistencia a la corrosión es fundamental para la integridad estructural a largo plazo.

En términos de manejo y aplicación práctica, Hernández, Gómez y López (2017) estudiaron la finura de las cenizas del bagazo de caña y su impacto en la fluidez y la trabajabilidad del hormigón fresco. Sus investigaciones proporcionan estrategias valiosas para optimizar la manipulación y colocación del material, facilitando su uso eficiente en diversas condiciones de construcción y diseño.

La protección contra la corrosión a largo plazo también ha sido abordada por García, López, y Pérez (2016), quienes investigaron cómo las cenizas del bagazo de caña mejoran la resistencia del acero embebido en el hormigón, este estudio destaca avances significativos en la preservación de la integridad estructural frente a los efectos corrosivos del ambiente, beneficiando especialmente infraestructuras expuestas a ambientes marinos y de alta humedad.

En el ámbito de la innovación tecnológica, Díaz, Hernández y Salazar (2015) exploraron la activación alcalina de las cenizas del bagazo de caña para mejorar la reactividad pozoalánica y la resistencia mecánica del hormigón, este enfoque proporciona nuevas perspectivas para optimizar el uso de estos subproductos agrícolas en mezclas de hormigón de alto rendimiento, abriendo camino a materiales más eficientes y sostenibles.

Finalmente, Fernández, Suárez, y Martín (2014) investigaron cómo las cenizas del bagazo de caña afectan la retracción por secado y la durabilidad del hormigón, este estudio destaca la capacidad de estos materiales para mejorar las propiedades a largo plazo del

hormigón, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras más resilientes y sostenibles en el tiempo.

En conjunto, estos estudios reflejan un campo de investigación dinámico y prometedor que no solo busca mejorar las propiedades técnicas del hormigón, sino también promover prácticas constructivas más amigables con el medio ambiente y resilientes a diversas condiciones de operación y exposición.

### **2.13. Innovaciones y Desafíos Futuros**

Para avanzar en el campo del uso de cenizas del bagazo de caña en el hormigón, se han identificado varias áreas de innovación y desarrollo que podrían abordar desafíos futuros y optimizar aún más las propiedades del material.

Sánchez de Rojas (2023) han explorado técnicas innovadoras para mejorar la dispersión y compatibilidad de las cenizas del bagazo de caña en la matriz del hormigón, estos avances son fundamentales para optimizar las propiedades del hormigón, asegurando una distribución uniforme de las cenizas y mejorando así la eficiencia estructural del material. Esta investigación podría llevar a formulaciones de hormigón más homogéneas y resilientes, capaces de resistir condiciones ambientales adversas con mayor efectividad.

Por otro lado, Tripathi y Gupta (2022) han propuesto métodos avanzados de tratamiento térmico para las cenizas del bagazo de caña, buscando mejorar sus propiedades reactivas dentro del hormigón, este enfoque promete incrementar la durabilidad y la resistencia del hormigón, ofreciendo soluciones más robustas y sostenibles para diversas aplicaciones constructivas. La mejora en la activación de las cenizas podría potenciar su capacidad como material de construcción, adaptándose mejor a exigencias estructurales y ambientales cada vez más rigurosas.

Así también, Montes (2021) han explorado el potencial de las cenizas del bagazo de caña como estabilizador de suelos, ampliando significativamente sus posibilidades de aplicación en la construcción de carreteras y otras infraestructuras civiles. Esta innovación no solo integra subproductos agrícolas en proyectos de ingeniería civil, sino que también mejora la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos al reducir la dependencia de materiales convencionales y costosos.

Respecto a las contribuciones de Ríos (2020) ha investigado la combinación de nanomateriales con cenizas del bagazo de caña para mejorar la resistencia y durabilidad del hormigón, estos avances representan un paso adelante en la búsqueda de materiales de construcción más avanzados y eficientes, adecuados para aplicaciones que requieren alta resistencia y longevidad estructural. La incorporación de nanomateriales podría revolucionar la industria del hormigón al mejorar sus propiedades mecánicas y su capacidad de resistir condiciones extremas.

Un área de investigación prominente es la efectuada por Sosa (2019) ha examinado estrategias para la producción a gran escala y la logística de suministro de cenizas del bagazo de caña. Estos estudios son cruciales para garantizar un suministro constante y de alta calidad de estos materiales, elementos esenciales para su adopción generalizada en la industria de la construcción. Mejorar la eficiencia en la producción y la distribución podría reducir costos y aumentar la viabilidad económica de utilizar cenizas del bagazo de caña a gran escala.

Por otro lado, Torres E. (2021) ha propuesto innovaciones en el procesamiento y tratamiento de las cenizas del bagazo de caña para mejorar la calidad del producto final, estas mejoras podrían incrementar la uniformidad y las propiedades específicas del hormigón, asegurando estándares consistentes en proyectos de construcción exigentes. La optimización en

el procesamiento podría permitir una mejor integración de las cenizas del bagazo de caña en mezclas de hormigón, maximizando sus beneficios en términos de resistencia y durabilidad.

López (2022) realizó evaluaciones exhaustivas del impacto ambiental del uso de cenizas del bagazo de caña en el hormigón. Estos estudios proporcionan datos cruciales para comprender cómo la implementación de estos subproductos agrícolas puede reducir la huella de carbono de la construcción, promoviendo prácticas más sostenibles en la industria. El análisis detallado del ciclo de vida y las emisiones asociadas puede guiar decisiones informadas sobre el uso de materiales alternativos en la construcción.

Ramírez (2023) han investigado aplicaciones específicas de las cenizas del bagazo de caña en infraestructuras críticas como puentes y presas, este enfoque destaca la importancia de adaptar los materiales de construcción a entornos exigentes donde la durabilidad y la resistencia son fundamentales para la seguridad y funcionalidad a largo plazo. La investigación aplicada en infraestructuras críticas puede abrir nuevas oportunidades para el uso extendido y especializado de las cenizas del bagazo de caña en proyectos de ingeniería de alto impacto, así también, González (2020) han explorado las propiedades químicas y físicas de las cenizas del bagazo de caña, proporcionando datos esenciales para optimizar su uso en el hormigón. Estos estudios fundamentan la investigación continua sobre cómo estos materiales pueden mejorar las características intrínsecas del hormigón, como la cohesión y la resistencia a la corrosión, el avance en la comprensión de las propiedades específicas de las cenizas del bagazo de caña puede orientar el diseño de mezclas de hormigón más eficientes y duraderas.

Finalmente, Ruiz (2018) han contribuido a la innovación en normativas y estándares relacionados con el uso de cenizas del bagazo de caña en la construcción, este trabajo es crucial para facilitar la adopción generalizada de estos materiales en proyectos de construcción, asegurando la conformidad con regulaciones ambientales y de calidad. El desarrollo de

normativas claras y estándares rigurosos puede acelerar la aceptación y aplicación de las cenizas del bagazo de caña en la industria, garantizando resultados consistentes y confiables en proyectos de todo tipo.

#### **2.14 Impacto Ambiental y Económico**

La investigación sobre el uso de cenizas de bagazo de caña en la industria del hormigón ha revelado impactos significativos tanto ambientales como económicos. Medina, Partal y Cabeza (2017) analizaron el efecto ambiental de estas cenizas, destacando su capacidad para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y fomentar prácticas constructivas sostenibles. Este hallazgo se complementa con el estudio de Chindaprasirt, Jaturapitakkul, Chalee, & Rattanasak U (2008), quienes encontraron que las cenizas pueden disminuir la cantidad de cemento necesaria, mejorando así la sostenibilidad del hormigón.

El uso de subproductos agrícolas como el bagazo y el coco puede disminuir los residuos en un 30-40% (Sobuz et al., 2024). Además, al emplear estos materiales como aditivos en el hormigón, se evita la disposición en vertederos, lo que a su vez disminuye la contaminación y mejora la sostenibilidad.

Las cenizas del bagazo de caña de azúcar actúan como puzolanas, que, al reaccionar con el hidróxido de calcio en el hormigón, reducen la necesidad de cemento Portland. Esto puede disminuir la huella de carbono del hormigón hasta en un 20% (Ahmad, Ahmad, Ostrowski, & Aslam, 2021)

#### ***2.15. Aplicación de la norma ASTM C39/C39M***

La norma ASTM es aquella que especifica los distintos métodos de ensayo para la resistencia de compresión en cilindro, esta es fundamental dentro del campo de la construcción, pues la misma detalla procedimientos para la fabricación, curado y manejo de cilindros de hormigón

antes de realizar la prueba, el cumplimiento de ASTM C39/C39M es crucial para garantizar que el hormigón utilizado en construcciones cumpla con los requisitos de resistencia y seguridad.

## **Capítulo 3: METOLOGÍA**

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

El enfoque adoptado en esta investigación es de naturaleza cuantitativa, dado que se orienta a la recolección y análisis de datos numéricos provenientes de ensayos experimentales sobre la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón modificados, este enfoque permitirá medir de manera precisa el comportamiento del hormigón al incorporar fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar, evaluando su impacto en comparación con hormigones convencionales, por otro lado, es idóneo para este estudio, ya que facilita la identificación de relaciones de causa y efecto, permitiendo una valoración rigurosa del desempeño mecánico del hormigón. Mediante la aplicación de pruebas estandarizadas, como las establecidas por la norma ASTM C39/C39M, se busca obtener datos objetivos que puedan ser analizados estadísticamente para generar conclusiones robustas y replicables.

Sin duda alguna este tipo de enfoque es clave para garantizar la validez de los resultados, ya que proporciona una base sólida para evaluar si la adición de fibras y cenizas mejora significativamente las propiedades mecánicas del hormigón, además permitirá tener una comparación exhaustiva entre las distintas dosificaciones de materiales y los periodos de curado seleccionados (7, 14 y 28 días). A través de esta comparación, se espera no solo identificar mejoras en la resistencia a la compresión, sino también entender el comportamiento del material a lo largo del tiempo, lo que es crucial para la evaluación de su viabilidad en aplicaciones reales de la construcción.

El uso de métodos cuantitativos en este contexto también aporta una dimensión práctica a la investigación, ya que los resultados obtenidos proporcionarán información clara y concreta sobre la posibilidad de incorporar estos materiales sostenibles en la producción de hormigón. Esta información no solo beneficiará a futuros investigadores y profesionales de la construcción, sino que también contribuirá a un enfoque más ecológico y eficiente en la industria, alineándose con las tendencias actuales de construcción sostenible.

### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación adoptado en este estudio es experimental, ya que se busca manipular deliberadamente las variables independientes (fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar) para observar sus efectos sobre la variable dependiente (la resistencia a la compresión del hormigón). Este tipo de diseño es adecuado para evaluar el impacto directo y controlado de las diferentes combinaciones de materiales sobre las propiedades mecánicas del hormigón, permitiendo establecer relaciones causales de manera precisa.

En el desarrollo del experimento, se prepararán cilindros de hormigón con distintas proporciones de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar, estos cilindros serán sometidos a pruebas de resistencia a la compresión en tres periodos de curado: a los 7, 14 y 28 días, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C39/C39M. La selección de estos tiempos de curado responde a la necesidad de evaluar el comportamiento del hormigón en diferentes fases de su proceso de endurecimiento y así obtener datos comparativos entre las distintas mezclas.

El diseño experimental sigue un esquema de comparación controlada, en el que se contrastarán los resultados obtenidos con las muestras de hormigón modificado frente a muestras de control de hormigón convencional, esta comparación permitirá determinar si las modificaciones con fibras y cenizas realmente generan un impacto positivo en la resistencia a

la compresión y en qué medida lo hacen. El uso de un grupo control es esencial para validar las conclusiones del estudio y garantizar que los resultados observados son consecuencia directa de los materiales utilizados y no de factores externos.

Además, este diseño contempla la recolección de datos a través de instrumentos de medición precisos, como prensas hidráulicas certificadas para los ensayos de compresión. Los resultados obtenidos se analizarán mediante herramientas estadísticas, lo que permitirá una interpretación rigurosa de los datos y la comparación objetiva de los resultados entre las distintas mezclas.

### **3.3. Materiales y Recursos**

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán diversos materiales y recursos tanto físicos como humanos, necesarios para llevar a cabo los ensayos experimentales y obtener resultados concluyentes sobre la resistencia a la compresión del hormigón modificado con fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar. A continuación, se detallan cada uno de ellos:

#### ***3.3.1. Recursos Físicos***

***Cemento:*** Se utilizará como material base para la preparación de todas las mezclas de hormigón, este material es ampliamente usado en la construcción y es el punto de referencia para comparar los resultados con mezclas modificadas.

***Fibras de coco:*** Este subproducto natural será utilizado como refuerzo en las mezclas de hormigón, se obtendrán de la cáscara del coco y serán seleccionadas y procesadas para cumplir con las características necesarias, como longitud y resistencia a la tracción, lo cual influirá directamente en las propiedades mecánicas del hormigón.

***Cenizas del bagazo de caña de azúcar:*** Estas cenizas provienen de la quema del bagazo de caña en procesos industriales, son ricas en compuestos puzolánicos y serán utilizadas como

reemplazo parcial del cemento en la mezcla, por otro lado la calidad y granulometría de las cenizas serán factores clave para asegurar su adecuada reactividad en la mezcla.

***Agregados finos y gruesos:*** Se emplearán arena y grava de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM C33/C33M, los agregados se seleccionarán cuidadosamente para asegurar que cumplan con las especificaciones de tamaño, limpieza y composición.

***Agua potable:*** El agua utilizada será limpia y apta para la mezcla del hormigón, garantizando la correcta hidratación del cemento y la activación de las cenizas puzolánicas.

***Cilindros de prueba:*** Los moldes cilíndricos, con las dimensiones especificadas por la norma ASTM C39/C39M, serán utilizados para la preparación de las muestras de hormigón que serán ensayadas a compresión.

***Prensa hidráulica:*** Este equipo se utilizará para realizar los ensayos de compresión en los cilindros de hormigón a los 7, 14 y 28 días, la máquina de ensayo debe cumplir con las normativas internacionales y estar calibrada para asegurar mediciones precisas.

### ***3.3.2. Recursos Humanos***

***Investigador principal:*** Responsable de la ejecución de los experimentos, la supervisión de la recolección de datos, y el análisis de resultados.

***Tutor académico:*** Quien brindará guía y apoyo académico durante el desarrollo del proyecto, asegurando el rigor metodológico y científico en cada etapa.

### ***3.3.3. Recursos Tecnológicos y Logísticos***

***Laboratorio de materiales:*** El laboratorio debe estar equipado con las herramientas y equipos necesarios para la elaboración de las mezclas de hormigón, incluyendo balanzas de precisión, mezcladoras de concreto, y prensas hidráulicas certificadas.

**Software de análisis estadístico:** Se emplearán programas como Excel o SPSS para el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de compresión. Estos recursos tecnológicos permitirán realizar un análisis comparativo entre las diferentes muestras y obtener conclusiones fundamentadas.

**Transporte y logística:** Será necesario contar con transporte adecuado para la recolección de materiales como fibras de coco, cenizas del bagazo de caña y agregados. Asimismo, se requerirá logística para el almacenamiento de los materiales bajo condiciones adecuadas para evitar su degradación antes de su uso.

### **3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación**

El desarrollo de esta investigación sigue un enfoque experimental, apoyado en métodos y técnicas que permiten cuantificar de manera precisa el impacto de las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña de azúcar en las propiedades del hormigón, particularmente su resistencia a la compresión. A continuación, se detallan los métodos, técnicas y las principales fórmulas utilizadas en los cálculos de los ensayos experimentales.

#### **3.4.1. Métodos**

**Método Experimental:** Se realizarán ensayos de compresión en cilindros de hormigón preparados con diferentes proporciones de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar, el procedimiento seguirá las normativas de la ASTM C39/C39M, con el objetivo de determinar el efecto de estos aditivos en las propiedades del hormigón en comparación con una mezcla convencional.

**Método Comparativo:** Se compararán los resultados obtenidos de las muestras modificadas con un grupo control de hormigón sin aditivos, este método permitirá verificar si la incorporación de fibras y cenizas mejora significativamente las propiedades mecánicas del hormigón.

### 3.4.2. Técnicas

**Preparación de muestras:** Se prepararán cilindros de hormigón con diferentes proporciones de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar. Las muestras se someterán a tiempos de curado de 7, 14 y 28 días, con el fin de evaluar su desarrollo de resistencia a lo largo del tiempo y la consistencia de los resultados.

**Ensayo de compresión:** Los ensayos de compresión se llevarán a cabo utilizando una prensa hidráulica, siguiendo las especificaciones de la norma ASTM C39/C39M. Este ensayo permitirá determinar la resistencia máxima que pueden soportar los cilindros de hormigón antes de fracturarse.

### 3.4.3. Instrumentos

**Prensa hidráulica:** Se utilizará para realizar los ensayos de compresión a los diferentes tiempos de curado, asegurando una medición precisa de la resistencia del hormigón.

**Moldes cilíndricos:** Los moldes con dimensiones estándar se emplearán para la preparación de los cilindros de hormigón, garantizando la uniformidad en las muestras.

**Software de análisis estadístico:** Se utilizará software especializado como Excel o SPSS para analizar los datos recolectados durante los ensayos, realizando comparaciones y análisis estadísticos que permitirán validar las hipótesis.

### 3.4.4. Fórmulas para utilizar

Las siguientes fórmulas se emplearán para calcular las propiedades de los agregados y evaluar el comportamiento del hormigón:

- **Módulo de finura:**

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acumulados retenidos}(N^{\circ}100, N^{\circ}50, N^{\circ}30, N^{\circ}16, N^{\circ}8, N^{\circ}4, N^{\circ}3/8'', 3/4'', 1\ 1/2'', 3'', 6'')}{100}$$

Esta fórmula permitirá calcular el módulo de finura de los agregados, asegurando su gradación adecuada para la mezcla de hormigón.

- **Humedad de los agregados:**

$$\% H = \frac{P. \text{ natural} - P. \text{ seco}}{P. \text{ seco}} * 100$$

Se calculará el porcentaje de humedad de los agregados antes de la mezcla, lo que permitirá ajustar la cantidad de agua necesaria para el diseño óptimo de la mezcla.

- **Densidad y absorción (Peso específico retenido N°4):**

Gs: gravedad específica seca

Gsss: gravedad específica en sss

G: gravedad específica aparente

Po: Porcentaje de absorción de agua

$$G_s = \frac{A}{B - C}$$

$$G = \frac{A}{A - C}$$

$$G_{sss} = \frac{B}{B - C}$$

$$P_o = \frac{B - A}{A \times 100}$$

Estas fórmulas se utilizarán para calcular la densidad específica y la absorción de los agregados retenidos en el tamiz.

- **Peso específico pasa N° 4**

**Datos:**

A: Peso seco de la muestra en el aire

B: Peso del picnómetro lleno con agua

S: Peso en estado sss de la muestra en aire

C: Peso del picnómetro con peso y agua hasta marca

Gs: gravedad específica seca

Gsss: gravedad específica en sss

G: gravedad específica aparente

Po: Porcentaje de absorción de agua

$$G_s = \frac{A}{B + S - C}$$

$$G = \frac{A}{A + B - C}$$

$$G_{sss} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$P_o = \frac{S - A}{A \times 100}$$

- **Peso unitario suelto**

$$P.U.S = \frac{G - T}{V}$$

Se utilizará esta fórmula para calcular el peso unitario suelto de los agregados, lo cual facilitará el diseño de la mezcla.

En el siguiente capítulo, se presentarán los resultados obtenidos tras la aplicación de los métodos, técnicas e instrumentos descritos anteriormente. A través de los ensayos de compresión y el análisis estadístico de las muestras de hormigón, se evaluará el impacto de la incorporación de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar en sus propiedades mecánicas. Los datos obtenidos permitirán validar o refutar las hipótesis planteadas,

proporcionando una visión clara sobre la viabilidad del uso de estos materiales en la industria de la construcción.

#### ***3.4.5. Proceso para la Obtención de la Fibra de Coco***

***Recolección de los cocos:*** El primer paso es la cosecha de los cocos maduros, se seleccionarán los cocos adecuados, que tienen una cáscara dura y fibrosa, ideal para la obtención de fibras resistentes.

***Remojo (Retting):*** Las cáscaras de coco se sumergirán en agua durante un periodo prolongado, que puede durar entre semanas o incluso meses, dependiendo del método empleado, este proceso se conoce como "retting", y tiene como objetivo ablandar las fibras y separar la parte fibrosa de la cáscara externa, el remojo puede hacerse en agua corriente (remojo en río) o en estanques de agua dulce o salada.

***Desfibrado:*** Una vez las cáscaras se han ablandado lo suficiente, se procede a extraer las fibras a través de un proceso de desfibrado, este puede ser manual o mecanizado, en el método manual, los trabajadores golpean las cáscaras con palos o martillos para separar las fibras, en los métodos mecanizados se utilizan máquinas desfibradoras que separan las fibras de la cáscara con mayor rapidez.

***Lavado:*** Tras la separación, las fibras se lavan para eliminar cualquier resto de materia orgánica o impurezas, esto ayuda a mejorar la calidad y limpieza de las fibras.

***Secado:*** Una vez lavadas, las fibras se secan al sol o mediante secadores industriales, el secado es importante para reducir el contenido de humedad y evitar que las fibras se degraden o se enmohezcan durante su almacenamiento.

***Clasificación:*** Las fibras secas se clasifican según su longitud, grosor y calidad, las fibras más largas y resistentes suelen usarse en aplicaciones más exigentes, como la fabricación

de cuerdas o materiales de refuerzo, mientras que las fibras más cortas pueden tener otros usos industriales.

***Empacado y almacenamiento:*** Las fibras de coco se empaquetan y almacenan en condiciones controladas para evitar la absorción de humedad, a partir de este punto, están listas para ser utilizadas en la fabricación de productos, como en el caso de esta investigación, donde se emplearán como refuerzo en el hormigón.

#### ***3.4.6. Proceso para la obtención de la ceniza del bagazo de caña de azúcar***

Con el objetivo de mejorar la resistencia a la compresión del hormigón mediante la incorporación de cenizas del bagazo de caña de azúcar y fibras de coco, se plantea el siguiente proceso de obtención de ceniza, que se implementará en la investigación:

***Recolección del Bagazo:*** Se llevará a cabo la recolección del bagazo de caña de azúcar, el residuo fibroso resultante de la extracción del jugo, este material se seleccionará cuidadosamente para garantizar que esté limpio y libre de contaminantes.

***Secado del Bagazo:*** Una vez recolectado, el bagazo se secará para reducir su contenido de humedad, este paso es esencial para asegurar que la incineración sea eficiente, permitiendo la conversión efectiva del material en ceniza.

***Incineración:*** Posteriormente, el bagazo seco se incinerará en un horno controlado a temperaturas que oscilarán entre 600 °C y 800 °C, este proceso transformará el material orgánico en cenizas, las cuales se espera que posean propiedades pozzolánicas adecuadas para su uso en hormigón.

***Enfriamiento de las Cenizas:*** Tras la incineración, las cenizas se enfriarán de manera controlada, este proceso es crucial para evitar reacciones indeseadas y facilitar el manejo del material.

***Tamizado:*** Las cenizas obtenidas se tamizarán para eliminar cualquier material no quemado y asegurar un tamaño de partícula uniforme, este paso es fundamental para optimizar la integración de las cenizas en la mezcla de hormigón.

***Almacenamiento:*** Finalmente, se almacenarán las cenizas en condiciones adecuadas, protegidas de la humedad y contaminantes, lo que garantizará su calidad hasta el momento de su uso en la formulación del hormigón.

## **Capítulo 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos experimentales llevados a cabo para evaluar la resistencia a la compresión del hormigón modificado con fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar. Este análisis busca responder a la pregunta principal de investigación: ¿Cómo influye la incorporación de estos materiales en la resistencia y sostenibilidad del hormigón en comparación con el hormigón convencional?

Los ensayos se realizaron siguiendo los estándares de la norma ASTM C39/C39M, evaluando cilindros de hormigón en diferentes etapas de curado (7, 14 y 28 días). Los resultados aquí presentados no solo proporcionan una comprensión clara del comportamiento mecánico del hormigón, sino que también permiten validar las hipótesis planteadas en capítulos anteriores. Además, se discutirá la viabilidad de la implementación de estos materiales en la construcción, basándonos en datos experimentales que destacan las ventajas en términos de durabilidad, resistencia y sostenibilidad.

El análisis se desarrollará en las siguientes secciones: primero, se expondrán los resultados cuantitativos de las pruebas de compresión, seguidos de un análisis comparativo entre las diferentes mezclas de hormigón, y finalmente, se interpretarán estos resultados a la luz de los objetivos del estudio, destacando las implicaciones técnicas y ambientales del uso de fibras de coco y cenizas del bagazo de caña de azúcar en el hormigón.

#### 4.1. Análisis granulométrico

Tabla 4 Granulometría del agregado grueso y fino

TAMIZ No.	Abertura (mm)	Retenido Acumulado (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1 1/2"	38.1	0	0	100.00
1"	25	1765	3.09	96.91
3/4"	19	4871	8.52	91.48
1/2"	12.5	15943	27.89	72.11
3/8"	9.5	23533	41.16	58.84
No. 4	4.75	35957	62.9	37.10
No. 8	2.36	176.8	69.78	30.22
No. 16	1.18	320.8	75.39	24.61
No. 30	0.6	496.3	82.23	17.77
No. 50	0.32	721.4	91	9.00
No. 100	0.15	825.7	95.06	4.94
No. 200	0.075	860.4	96.41	3.59
<b>MÓDULO DE FINURA</b>			<b>5.26</b>	

Fuente: Elaboración Propia

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados retenidos (N}^\circ 100, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 4, \text{N}^\circ 3/8'', 3/4'', 1\ 1/2'', 3'', 6'')} {100}$$

$$MF = \frac{0 + 8.52 + 41.16 + 62.9 + 69.78 + 75.39 + 82.23 + 91 + 95.06} {100}$$

$$MF = 5.26$$

El análisis granulométrico realizado al agregado muestra un Módulo de Finura de 5.26, lo que indica una finura moderada. Según la norma ASTM C 39/ C39M, este valor sugiere una distribución de tamaños de partículas relativamente equilibrada, con presencia tanto de partículas finas como gruesas. Este tipo de agregado podría ser adecuado para muchas aplicaciones en concreto, ya que influye en propiedades como la trabajabilidad, resistencia y durabilidad. En la siguiente Figura se presenta la curva granulométrica.

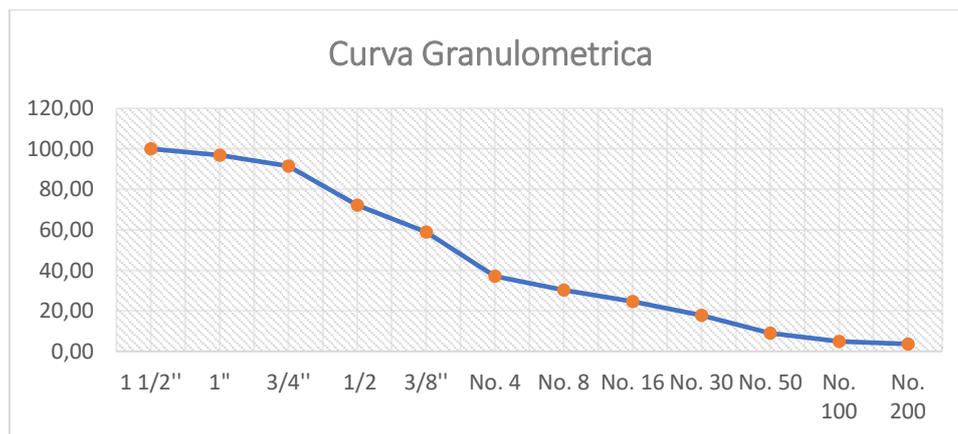


Figura 3 Curva granulométrica de agregado

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2. Ensayo del contenido de Humedad

La Tabla 9 nos muestra los resultados del contenido de humedad de los agregados tanto fino como grueso, para este análisis se usó la normativa (NTE INEN 862, 2011)

$$\% H = \frac{P. \text{ natural} - P. \text{ seco}}{P. \text{ seco}} * 100$$

$$\% H = \frac{786.4 - 186.1 - 574.7}{574.7} * 100$$

$$\% H = 4.45$$

Tabla 5 Ensayo de humedad agregado grueso y fino

ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL AGREGADO GRUESO Y FINO						
RECIPIENTE No.	Masa de Muestra Húmeda + Recipiente (gr)	Masa de Muestra Seca + Recipiente (gr)	Masa de Agua (gr)	Masa del recipiente (gr)	Masa muestra seca (gr)	Porcentaje de Humedad Natural %
1	786.4	760.8	25.6	186.1	574.7	4.45

Fuente: Elaboración Propia

Se ha realizado un análisis preliminar de los resultados de un ensayo de contenido de humedad en un agregado, según la normativa ecuatoriana NTE INEN 862:2011. La tabla presentada muestra los datos obtenidos en el laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en la muestra. El porcentaje de humedad obtenido (4.45%) está dentro de un valor típico para muchos tipos de agregados.

### 4.3. Ensayo de Absorción

#### 4.3.1. Agregado Fino

De acuerdo con la NTE INEN 856:2010, un porcentaje de absorción de agua de 1.12% en un agregado fino se considera generalmente bajo. Esto implica que el material tiene una baja porosidad y, por lo tanto, una menor capacidad para absorber agua. Un bajo porcentaje de absorción suele ser deseable en muchos tipos de hormigón, ya que contribuye a una mayor resistencia y durabilidad.

Datos:

A: Peso seco de la muestra en aire	6325,00 gr
B: Peso en estado sss de la muestra en aire	6396,00 gr
C: Peso de La muestra saturada	4010,00 gr

Formulas:

$$G_s = \frac{A}{B - C}$$

$$G_{sss} = \frac{B}{B - C}$$

$$P_o = \frac{B - A}{A \times 100}$$

Un porcentaje de absorción de 1.12% indica que el agregado fino es relativamente impermeable, lo cual es una característica positiva en general.

Tabla 6 Resultados del Agregado Fino

Gs: gravedad específica seca	2651 kg/m <sup>3</sup>
Gsss: gravedad específica en sss	2681 kg/m <sup>3</sup>
G: gravedad específica aparente	2732 kg/m <sup>3</sup>
Po: porcentaje de absorción de agua	1,12%

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.2. Agregado Grueso

De acuerdo con la normativa NTE INEN 856 (2010), el porcentaje de absorción de agua de un agregado grueso es un indicador importante de la calidad del material, ya que refleja su capacidad para retener agua en sus poros. Un porcentaje de absorción de 1.34% se encuentra dentro del rango aceptable para agregados de buena calidad, ya que generalmente, los valores de absorción inferiores al 2% son considerados adecuados para su uso en la construcción de hormigón estructural. Esto implica que el agregado grueso evaluado no absorberá excesiva cantidad de agua de la mezcla de hormigón, contribuyendo a una mejor consistencia y durabilidad del material final.

Datos:

A: Peso seco de la muestra en aire	493,40 gr
B: Peso del picnómetro lleno con agua	646,60 gr
S: Peso en estado sss de la muestra en aire	500,00 gr
C: Peso del picnómetro con muestra y agua hasta marca	959,10 gr

Formulas:

$$G_s = \frac{A}{B + S - C}$$

$$G = \frac{A}{A + B - C}$$

$$G_{sss} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$P_o = \frac{S - A}{A \times 100}$$

*Tabla 7 Resultado Agregado Grueso*

Gs: gravedad específica seca	2631 kg/m <sup>3</sup>
Gsss: gravedad específica en sss	2667 kg/m <sup>3</sup>
G: gravedad específica aparente	2727 kg/m <sup>3</sup>
Po: porcentaje de absorción de agua	1,34%

*Fuente: Elaboración Propia*

Llegando así a obtener un promedio de 1.23% entre los dos porcentajes de absorción del agua

#### 4.4. Dosificaciones Aplicadas a Cada Mezcla

##### 4.4.1. Hormigón base f'c 210 (kg/cm<sup>2</sup>)

La siguiente tabla nos muestra la mezcla general utilizada para la fabricación de 9 cilindros. De los nueve cilindros moldeados, seis serán destinados a los ensayos de compresión, mientras que los tres restantes servirán como muestras de referencia para posibles análisis posteriores.

*Tabla 8 Análisis del Hormigón Base*

<b>HORMIGÓN BASE f'c 210 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Masa para el ensayo (Kg)</b>
Cemento Armaduro	16,25
Gravas y Arena	92,731
Fibra de coco	0
Ceniza	0
Agua	7,607
Aire	0,5
<b>Total</b>	<b>117,088</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla presenta la dosificación de los materiales constituyentes de un hormigón base con una resistencia característica a la compresión ( $f_c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Se observa que la mezcla está compuesta principalmente por cemento, agregados (gravas y arena), agua y una pequeña cantidad de aire incorporado. La masa total de la mezcla, necesaria para realizar los ensayos de compresión en cilindros, es de 117,088 kg.

Es importante destacar que la proporción de agua respecto al cemento, conocida como relación agua-cemento, es un factor crucial que influye directamente en las propiedades del hormigón endurecido, como su resistencia y durabilidad. Además, la presencia de aire incorporado en la mezcla puede mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco y reducir la segregación y exudación. La siguiente tabla nos muestra la dosificación para cada cilindro de ensayo.

*Tabla 9 Dosificación para el cilindro de ensayo*

<b>CILINDRO DE ENSAYO</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Masa para el ensayo (Kg)</b>
Cemento Armaduro	1,806
Gravas y Arena	10,303
Fibra de coco	0
Ceniza	0
Agua	0,845
Aire	0,056
<b>Total</b>	<b>13,01</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla detalla las cantidades en kilogramos de cada componente empleado en la fabricación de un solo cilindro de ensayo. Estos componentes incluyen cemento (específicamente, "Cemento Armaduro"), agregados (gravas y arena), agua y aire incorporado. La suma de estas masas individuales resulta en un peso total de 13,01 kg por cilindro.

**Cemento Armaduro:** El cemento es el aglomerante que, al hidratarse, une los agregados y otorga al hormigón su resistencia. La cantidad de cemento influye directamente en la resistencia final del hormigón.

**Agregados:** Las gravas y arena son los materiales inertes que proporcionan volumen y estabilidad a la mezcla. La proporción entre finos (arena) y gruesos (grava) afecta a la trabajabilidad y a la densidad del hormigón.

**Agua:** El agua es necesaria para la hidratación del cemento y la formación de la pasta de cemento. Una cantidad excesiva de agua puede reducir la resistencia del hormigón, mientras que una cantidad insuficiente puede dificultar la trabajabilidad.

**Aire incorporado:** La presencia de aire en la mezcla puede mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco y reducir la segregación y exudación, el exceso puede disminuir la resistencia.

#### 4.4.2. Hormigón con 1% Ceniza y 4% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>)

La siguiente tabla nos muestra la mezcla general utilizada para la fabricación de 9 cilindros.

*Tabla 10 Mezcla utilizada para la fabricación de 9 cilindros*

<b>HORMIGÓN CON 1% CENIZA Y 4% COCO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Masa para el ensayo (Kg)</b>
Cemento Armaduro	16,25
Gravas y Arena	91,131
Fibra de coco	0,65
Ceniza	0,163
Agua	7,657
Aire	0,5
<b>Total</b>	<b>116,351</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla presenta la dosificación de los materiales constituyentes de un hormigón con 1% de ceniza y 4% de fibras de coco. Estos componentes incluyen cemento (específicamente, "Cemento Armaduro"), agregados convencionales (gravas y arena), agua, aire incorporado, y los aditivos de ceniza y fibra de coco. La suma de estas masas individuales resulta en un peso total de 116,351 kg por cilindro.

Es crucial destacar que la inclusión de ceniza y fibra de coco en esta mezcla de hormigón busca mejorar ciertas propiedades del material, como su resistencia, durabilidad, y posiblemente reducir su impacto ambiental al aprovechar materiales reciclados. La ceniza, un subproducto de la combustión, puede actuar como material cementante adicional, mientras que la fibra de coco puede mejorar la tenacidad y la resistencia a la fisuración del hormigón.

La dosificación presentada en la tabla corresponde a un diseño específico de mezcla, donde se ha establecido una proporción determinada de cada componente para lograr las propiedades deseadas. Es importante mencionar que la dosificación de un hormigón es un proceso complejo que depende de diversos factores, como el tipo de cemento, la calidad de los agregados, las propiedades de los aditivos y las condiciones ambientales. La siguiente tabla nos muestra la dosificación para cada cilindro de ensayo.

*Tabla 11 Dosificación para Cilindro*

<b>CILINDRO DE ENSAYO</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Masa para el ensayo (Kg)</b>
Cemento Armaduro	1,806
Gravas y Arena	10,126
Fibra de coco	0,072
Ceniza	0,018
Agua	0,851
Aire	0,056
<b>Total</b>	<b>12,928</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla proporciona una detallada composición de un cilindro de ensayo de hormigón innovador, diseñado para incorporar materiales sostenibles y mejorar las propiedades del concreto tradicional. Con un peso total de 12,928 kilogramos, este cilindro contiene una mezcla precisa de cemento, agregados (gravas y arena), agua, aire y dos aditivos clave: ceniza de bagazo de caña y fibra de coco. La inclusión de un 4% de fibra de coco refuerza la tenacidad del hormigón, mientras que el 1% de ceniza de bagazo de caña actúa como un material cementante adicional, mejorando la durabilidad y reduciendo la permeabilidad. Esta combinación de materiales busca optimizar las propiedades mecánicas y la sostenibilidad del hormigón, ofreciendo una alternativa más ecológica y eficiente a los materiales de construcción convencionales. La dosificación precisa de cada componente garantiza que el hormigón resultante cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos para la aplicación específica.

#### 4.4.3. Hormigón con 2.5% Ceniza y 2.5% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>)

La siguiente tabla nos muestra la mezcla general utilizada para la fabricación de 9 cilindros.

*Tabla 12 Mezcla utilizada para cilindros*

<b>HORMIGÓN CON 2.5% CENIZA Y 2.5% COCO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Masa para el ensayo (Kg)</b>
Cemento	
Armadero	16,25
Gravas y Arena	91,359
Fibra de coco	0,406
Ceniza	0,406
Agua	7,65
Aire	0,5
<b>Total</b>	<b>116,571</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla presentada detalla la dosificación exacta de los materiales utilizados para elaborar una mezcla hormigón innovador, diseñado para incorporar materiales sostenibles y mejorar las propiedades del concreto tradicional. Este hormigón se ha formulado con la adición de un 2.5% de ceniza de bagazo de caña de azúcar y un 2.5% de fibra de coco en relación con la masa total de cemento, lo que representa un avance en la búsqueda de materiales de construcción más ecológicos y eficientes.

Con un peso total de 116,571 kilogramos, esta mezcla contiene una mezcla precisa de cemento, agregados (gravas y arena), agua, aire y los aditivos mencionados anteriormente. La inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar y fibra de coco aporta múltiples beneficios al hormigón.

*Tabla 13 Componentes para Cilindro de ensayo*

<b>CILINDRO DE ENSAYO</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Masa para el ensayo (Kg)</b>
Cemento Armaduro	1,806
Gravas y Arena	10,151
Fibra de coco	0,045
Ceniza	0,045
Agua	0,85
Aire	0,056
<b>Total</b>	<b>12,952</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla presenta la composición exacta de un único cilindro de ensayo de un hormigón, diseñado para incorporar materiales sostenibles y mejorar las propiedades del concreto tradicional. Este hormigón se ha formulado con la adición de un 2.5% de ceniza de bagazo de caña y un 2.5% de fibras de coco en relación con la masa total de cemento, lo que representa un avance en la búsqueda de materiales de construcción más ecológicos y eficientes.

Con un peso total de 12,952 kilogramos, este cilindro contiene una mezcla precisa de cemento, agregados (gravas y arena), agua, aire y los aditivos mencionados anteriormente. La inclusión de ceniza de bagazo de caña y fibras de coco aporta múltiples beneficios al hormigón:

- **Ceniza de bagazo de caña:** Actúa como un material cementante suplementario, reaccionando con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento y formando compuestos adicionales que aumentan la resistencia y durabilidad del hormigón. Además, su uso reduce la dependencia de materiales convencionales y promueve la economía circular.

- **Fibras de coco:** Al ser un material fibroso natural, mejora la tenacidad del hormigón, reduciendo la formación de fisuras y aumentando su resistencia a impactos. También contribuye a mejorar la aislación térmica y acústica del material.

#### 4.4.4. Hormigón con 4% Ceniza y 1% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>)

La siguiente tabla nos muestra la mezcla general utilizada para la fabricación de 9 cilindros.

Tabla 14 Mezcla utilizada para Hormigón con 4% y 1% de coco

<b>HORMIGÓN CON 4% CENIZA Y 1% COCO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Masa para el ensayo (Kg)</b>
Cemento	
Armaduro	16,25
Gravas y Arena	91,587
Fibra de coco	0,163
Ceniza	0,65
Agua	7,643
Aire	0,5
<b>Total</b>	<b>116,793</b>

Fuente: Elaboración Propia

La tabla presenta la composición detallada de una mezcla, diseñada para incorporar materiales sostenibles y mejorar las propiedades del concreto tradicional. Este hormigón se ha formulado con la adición de un 4% de ceniza y un 1% de fibra de coco en relación con la masa total de cemento, lo que representa un avance en la búsqueda de materiales de construcción más ecológicos y eficientes. Con un peso total de 116,793 kilogramos, esta mezcla contiene cemento, agregados (gravas y arena), agua, aire y los aditivos mencionados anteriormente. La siguiente tabla nos muestra la dosificación para cada cilindro de ensayo.

*Tabla 15 Dosificación para cilindro de ensayo*

<b>CILINDRO DE ENSAYO</b>	
<b>Materiales</b>	<b>Masa para el ensayo (Kg)</b>
Cemento Armaduro	1,806
Gravas y Arena	10,176
Fibra de coco	0,018
Ceniza	0,072
Agua	0,849
Aire	0,056
<b>Total</b>	<b>12,977</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

Este hormigón se ha formulado con la adición de un 4% de ceniza de bagazo de caña y un 1% de fibra de coco en relación con la masa total de cemento. Con un peso total de 12,977 kilogramos, este cilindro contiene una mezcla precisa de cemento, agregados (gravas y arena), agua, aire y los aditivos mencionados anteriormente. La inclusión de ceniza de bagazo de caña y fibra de coco aporta múltiples beneficios al hormigón, como un aumento en su resistencia, durabilidad y una reducción en su permeabilidad. El aumento del porcentaje de ceniza en la mezcla puede generar un incremento en la resistencia a la compresión del hormigón a largo plazo, una mayor durabilidad y una reducción en los costos de producción. Es importante destacar que los efectos de aumentar el porcentaje de ceniza pueden variar dependiendo de factores específicos.

#### 4.5. Ensayos de compresión

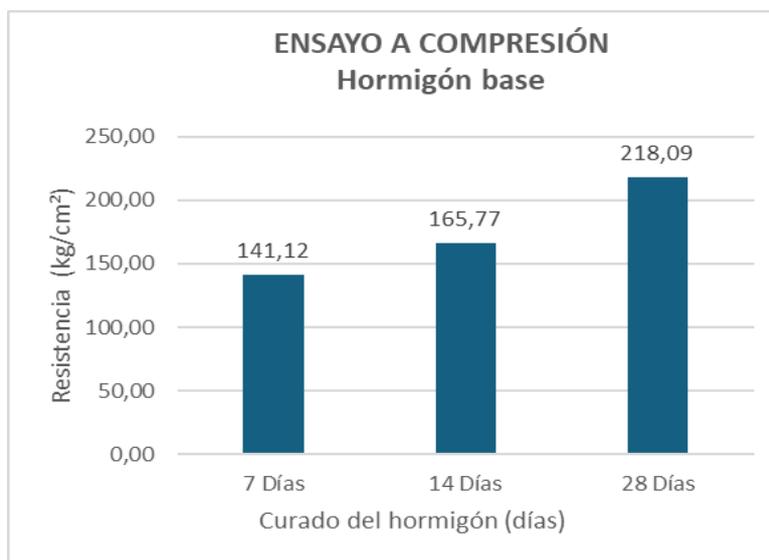
En la siguiente tabla se puede observar los ensayos realizados a los distintos cilindros de hormigón.

*Tabla 16 Ensayos a compresión de cilindros de hormigón*

ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN DE $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$												
No.	HORMIGÓN BASE $f'c 210$ ( $\text{kg/cm}^2$ )			HORMIGÓN CON 1% CENIZA Y 4% COCO ( $\text{kg/cm}^2$ )			HORMIGÓN CON 2.5% CENIZA Y 2.5% COCO ( $\text{kg/cm}^2$ )			HORMIGÓN CON 4% CENIZA Y 1% COCO ( $\text{kg/cm}^2$ )		
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
1	134.83	168.47	217.01	94.44	91.85	121.06	155.55	193.20	238.61	147.74	191.35	236.54
2	147.40	163.07	219.17	84.69	80.67	96.89	174.60	191.00	231.80	177.35	196.39	236.94
PROMEDIO	141.12	165.77	218.09	89.57	86.26	108.98	165.08	192.10	235.21	162.55	193.87	236.74

*Fuente: Elaboración Propia*

##### 4.5.1. Hormigón Base $F'c 210$ ( $\text{Kg}/\text{Cm}^2$ )



*Figura 4 Ensayo a compresión, Hormigón Base*

*Fuente: Elaboración Propia*

La gráfica muestra el comportamiento de la resistencia a compresión de un hormigón base a lo largo del tiempo de curado. Se observa un incremento progresivo en la resistencia, pasando de  $141,12 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días, a  $165,77 \text{ kg/cm}^2$  a los 14 días y alcanzando un valor

máximo de 218,09 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Este aumento es típico en el hormigón debido al proceso de hidratación del cemento, que genera una matriz cada vez más densa y resistente. Sin embargo, es importante destacar que la tasa de incremento disminuye con el tiempo, lo cual indica que la mayor parte del endurecimiento ocurre en las primeras etapas de curado. Estos resultados son coherentes con lo esperado para un hormigón estándar y sirven como referencia para comparar el comportamiento de otras mezclas con aditivos.

#### 4.5.2. Hormigón con 1% Ceniza y 4% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>)

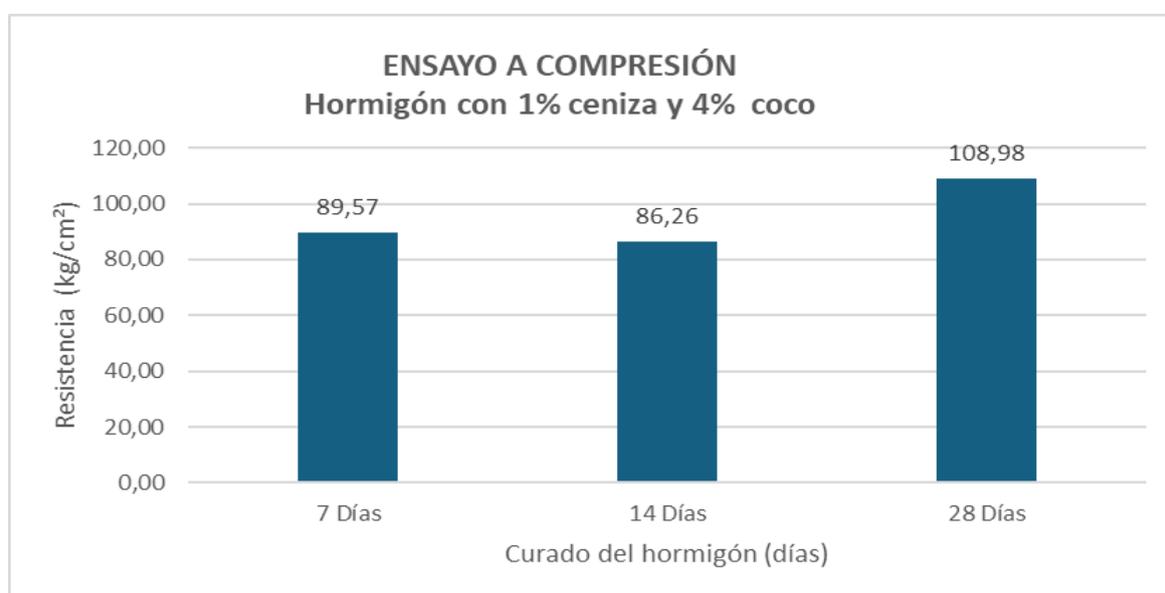


Figura 5 En sayo a compresión, Hormigón con 1% de ceniza y 4% de coco

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica muestra el comportamiento de la resistencia a compresión de un hormigón al que se le ha adicionado un 1% de ceniza de bagazo de caña y un 4% de fibras de coco a lo largo del tiempo de curado. Se observa un incremento inicial en la resistencia, alcanzando un valor máximo a los 7 días de 89.57 kg/cm<sup>2</sup>, seguido de una ligera disminución a los 14 días con un valor de 86.26 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, a los 28 días se aprecia un aumento significativo en la resistencia, llegando a 108.98 kg/cm<sup>2</sup>. La disminución temporal en la resistencia a los 14 días

podría deberse a factores como la competencia por el agua durante la hidratación o a otros efectos de los aditivos.

#### 4.5.3. Hormigón con 2.5% Ceniza y 2.5% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>)

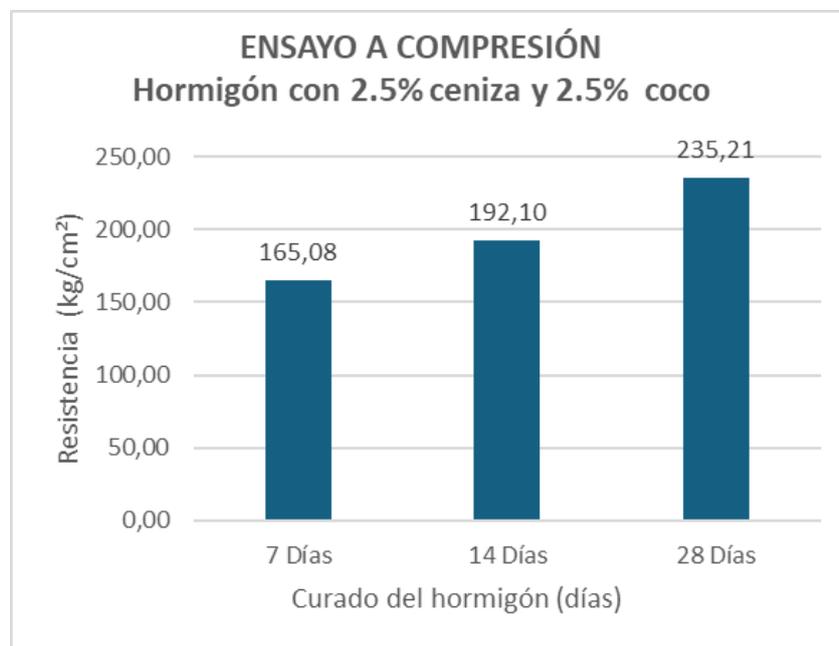


Figura 6 Ensayo a compresión, Hormigón con 2,5% ceniza y 2,5% coco

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica muestra el comportamiento de la resistencia a compresión de un hormigón al que se le ha adicionado un 2.5% de ceniza de bagazo de caña y un 2.5% de fibras de coco a lo largo del tiempo de curado. Se observa un incremento progresivo en la resistencia, pasando de 165.08 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, a 192.10 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días y alcanzando un valor máximo de 235.21 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Este aumento continuo indica que la adición de estos aditivos tiene un efecto positivo en el desarrollo de la resistencia a largo plazo del hormigón.

La ceniza de bagazo de caña podría actuar como un relleno parcial para el cemento, mientras que las fibras de coco podrían mejorar la cohesión y la resistencia a la tracción del material. Sin embargo, es importante destacar que la tasa de incremento disminuye ligeramente entre los 14 y 28 días, lo que sugiere que el efecto de los aditivos podría estabilizarse con el

tiempo. Los resultados obtenidos son prometedores y sugieren que la combinación de ceniza de bagazo de caña y fibras de coco podría ser una alternativa viable para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, especialmente a largo plazo.

#### 4.5.4. Hormigón con 4% Ceniza y 1% Coco (Kg/Cm<sup>2</sup>)

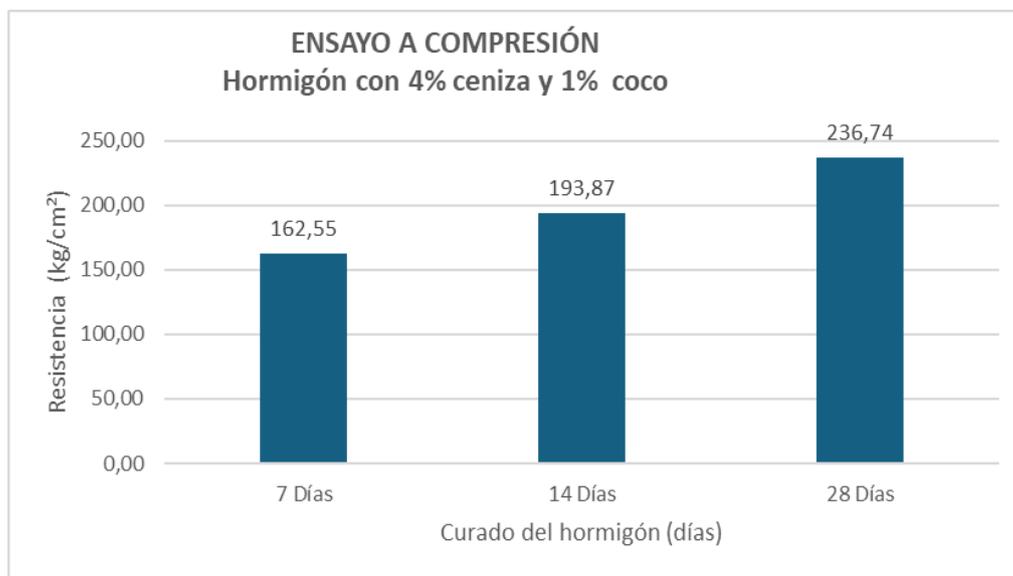


Figura 7 Ensayo a compresión, Hormigón con 4% y 1% coco

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica muestra un comportamiento interesante en la resistencia a compresión del hormigón con 4% de ceniza de bagazo de caña y 1% de fibras de coco. Inicialmente, a los 7 días, se observa una resistencia de 162.55 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual es un valor razonable para un hormigón joven. Sin embargo, a medida que aumenta el tiempo de curado, se aprecia un aumento significativo en la resistencia, alcanzando un valor máximo de 236.74 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Este comportamiento indica que la adición de ceniza y fibra de coco en estas proporciones ha tenido un efecto positivo en el desarrollo de la resistencia a largo plazo del hormigón.

Este comportamiento positivo podría deberse a diversos factores, como la formación de compuestos adicionales que contribuyen a la resistencia, una mejor distribución de los poros o una mayor densidad de la matriz cementicia.

#### 4.6. Tipos de fallas presentes al realizar los respectivos ensayos de compresión

##### 4.6.1. Hormigón base $f'c$ 210

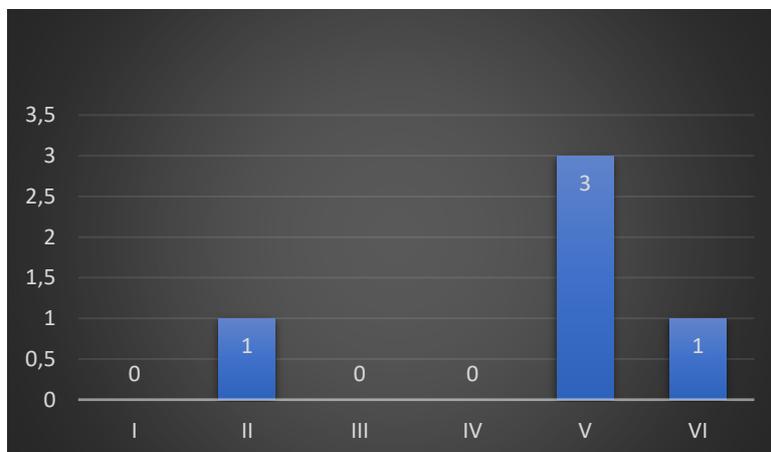


Figura 8 Tipo de falla predominante para la mezcla de Hormigón base  $f'c$  210

Tal como se puede observar en la figura anterior el tipo de falla que predomina en esta mezcla es la falla tipo V que nos indica fracturas laterales en la parte superior o fondo, el hormigón experimenta un déficit de cohesión longitudinal en los agregados o en la matriz de cemento, lo que genera una propagación de fisuras en dirección paralela a la carga. Esto suele ocurrir cuando el hormigón presenta zonas de debilidad que concentran las tensiones, provocando una ruptura en forma de columna o en forma de grietas longitudinales continuas en la parte superior o inferior de la respectiva probeta.



Figura 9 Probetas mayormente afectadas por la compresión

La imagen muestra probetas cilíndricas que presentan una falla tipo V, caracterizada por la presencia de fracturas laterales localizadas en la parte superior o inferior de los cilindros. Estas fracturas, de naturaleza frágil, indican una pérdida de cohesión en la matriz del material, lo cual sugiere una posible debilidad en la interfaz entre los agregados y la pasta de cemento. La orientación y distribución de las fisuras sugieren que el esfuerzo máximo se concentró en las zonas extremas de las probetas, lo que podría estar relacionado con factores como la calidad de la mezcla, las condiciones de curado, o la presencia de defectos internos. Estas fallas comprometen la capacidad portante del material y reducen significativamente su vida útil.

#### 4.6.2. Hormigón con 1% ceniza y 4% coco

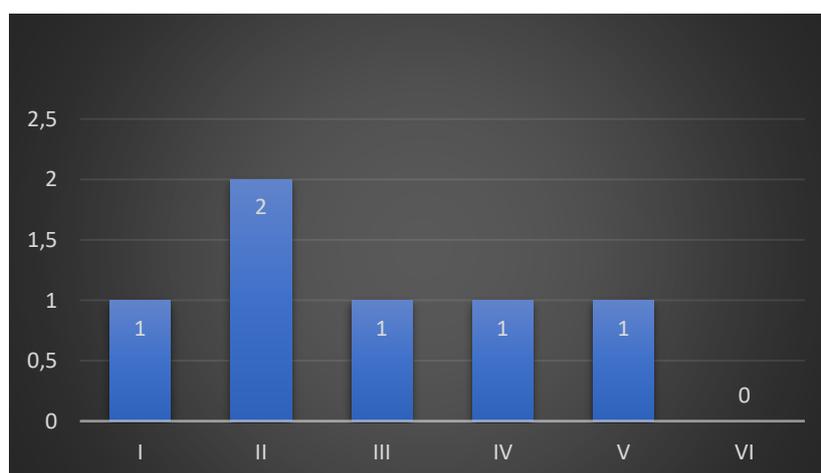


Figura 10 Tipo de falla predominante para la mezcla de Hormigón con 1% ceniza y 4% coco

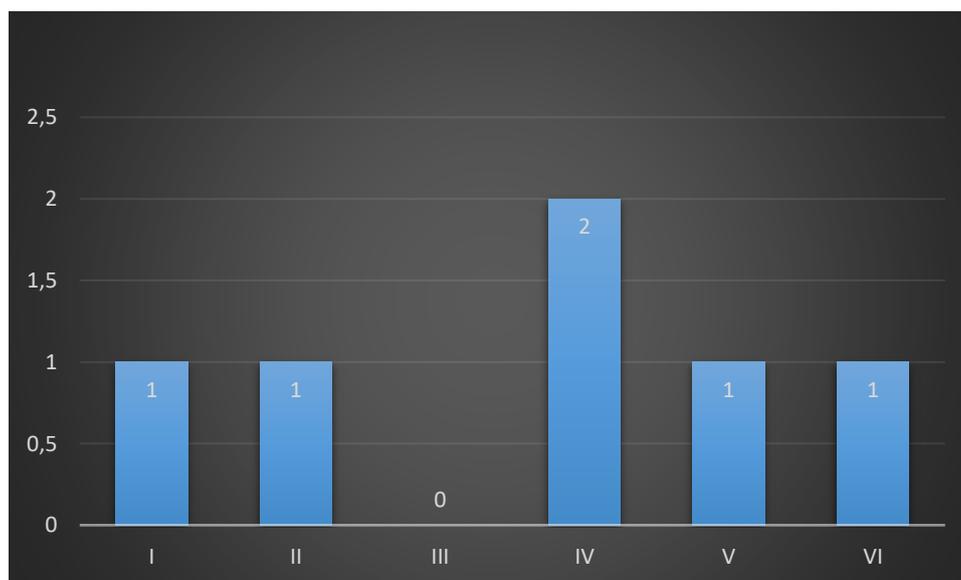
Como se puede observar en la figura el tipo de falla que predomina en esta mezcla es la falla tipo II que nos indica grietas verticales que funcionan a través de los casquillos, la ceniza y el coco, al no ser agregados diseñados para este propósito, reducen significativamente la resistencia a la tracción y alteran el módulo de elasticidad del material, haciéndolo más propenso a agrietarse. Además, la pobre adhesión entre estos agregados y la pasta de cemento, sumada a las diferencias en sus tasas de secado y coeficientes de expansión térmica, generan tensiones internas que favorecen la formación de grietas.



*Figura 11 Probeta mayormente afectada por la compresión*

La probeta presenta una falla tipo II, caracterizada por la formación de un cono bien definido en uno de sus extremos y la presencia de grietas verticales que atraviesan los casquillos en toda su longitud, sin que se observe un cono definido en el extremo opuesto. Esta tipología de falla indica una ruptura frágil del material, producto de una concentración de esfuerzos en una zona específica. Las grietas verticales sugieren una pérdida de cohesión en la matriz del material, lo que podría estar asociado a una baja resistencia a la tracción o a la presencia de heterogeneidades en la muestra. La ausencia de un cono definido en el extremo opuesto sugiere una propagación de la fractura de manera más uniforme a lo largo de la probeta. En conjunto, estos indicios apuntan a una calidad del material inferior a lo esperado, lo cual podría estar relacionado con factores como la proporción agua-cemento, el curado inadecuado o la presencia de agregados de baja calidad.

### *Hormigón con 2.5% ceniza y 2.5% coco*



*Figura 12 Tipo de falla predominante para la mezcla de Hormigón con 2.5% ceniza y 2.5% coco*

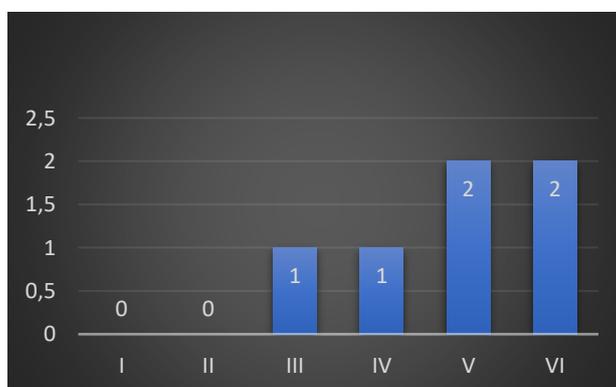
Como se puede observar en la figura el tipo de falla que predomina en esta mezcla es la falla tipo IV que nos indica fracturas diagonales, puede ocurrir en la mezcla de hormigón con 2.5% de ceniza y 2.5% de coco debido a la distribución interna de los componentes y su influencia en la resistencia al corte. La adición de ceniza y coco afecta la cohesión de la matriz cementante y altera las propiedades mecánicas del hormigón, generando zonas de menor resistencia en el plano diagonal bajo carga de compresión. Esta disposición diagonal de la fractura sugiere que el material no tiene la capacidad suficiente para absorber las tensiones de corte, lo que resulta en una ruptura inclinada que evita fisuras a través de los extremos. Además, la mezcla específica de ceniza y coco podría contribuir a una heterogeneidad en la matriz, que facilita la concentración de esfuerzos en ángulos, produciendo la fractura diagonal observada.



*Figura 13 Probeta mayormente afectada por la compresión*

La probeta presenta una falla tipo 4, caracterizada por una fractura diagonal que no atraviesa completamente los extremos de la misma. Esta tipología de falla sugiere una rotura frágil del material, producto de una concentración de esfuerzos en una zona específica. La ausencia de una fractura completa en los extremos indica una cierta ductilidad local en el material, aunque la falla en sí misma es de naturaleza frágil. La orientación de la fractura diagonal sugiere que el esfuerzo máximo se aplicó en una dirección oblicua a la carga axial, lo cual podría estar relacionado con alguna excentricidad en la aplicación de la carga o con la presencia de heterogeneidades en el material. Este tipo de falla puede estar asociado a una calidad del material aceptable, aunque la presencia de la fractura diagonal indica una reducción en la capacidad portante de la probeta en comparación con una falla por compresión directa.

#### **Hormigón con 4% ceniza y 1% coco**



*Figura 14 Tipo de falla predominante para la mezcla de Hormigón con 4% ceniza y 1% coco*

Como se puede observar en la figura el tipo de falla que predomina en esta mezcla son las fallas V y VI que nos indican fracturas laterales, pueden deberse a una distribución irregular de la resistencia en las zonas laterales de la probeta. La adición de ceniza en mayor proporción modifica la cohesión de la matriz del cemento y, al combinarse con una menor cantidad de fibra de coco, se pueden generar puntos de debilidad en los bordes o extremos de la probeta. Esta combinación produce zonas donde las tensiones se concentran más intensamente en la periferia, especialmente en la parte superior o inferior. Como resultado, el hormigón falla lateralmente, ya que no posee suficiente resistencia en esos puntos para soportar la compresión, provocando fracturas laterales que se intensifican en el tipo 6 debido a una distribución de tensiones más localizada en los extremos.

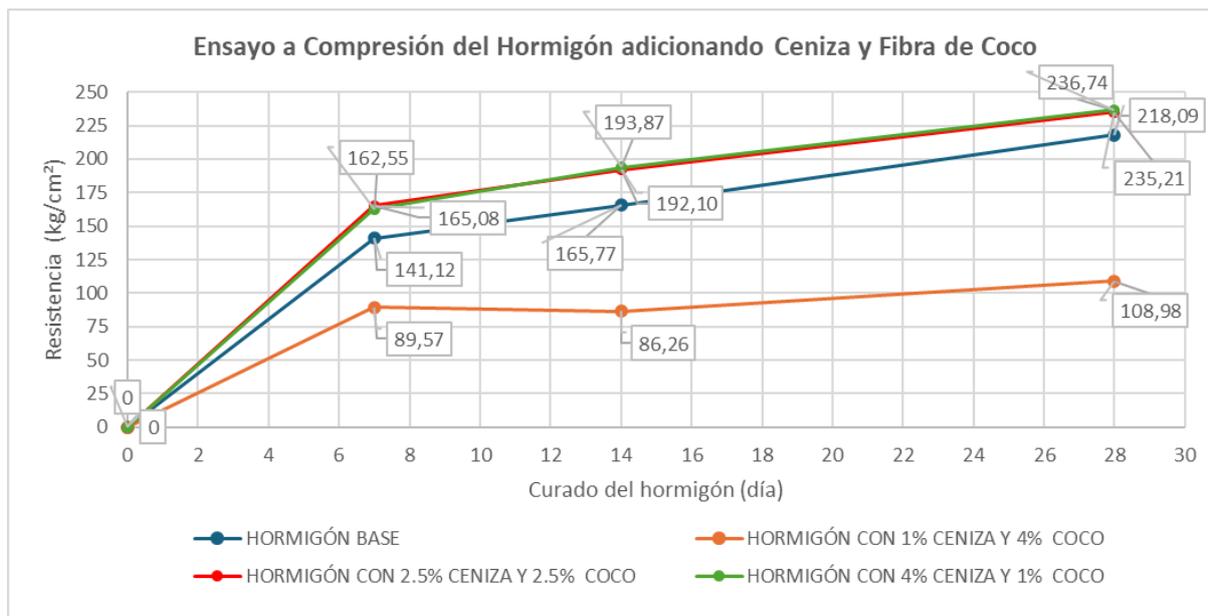


*Figura 15 Probeta mayormente afectada por la compresión*

Las probetas presentan fallas tipo 5 y 6, caracterizadas por la presencia de fracturas laterales localizadas predominantemente en la parte superior o inferior de los cilindros. La falla tipo 6 se diferencia de la tipo 5 por la presencia de un asentamiento o hundimiento en uno de los extremos de la probeta, lo que indica una mayor concentración de esfuerzos en esa zona. Estas fracturas laterales sugieren una pérdida de cohesión en la matriz del material, lo cual podría estar relacionado con una baja resistencia a la tracción, una mala adherencia entre los agregados y la pasta de cemento, o la presencia de heterogeneidades en la mezcla. La orientación de las

fracturas indica que el esfuerzo máximo se concentró en las zonas extremas de las probetas, lo que podría estar asociado a factores como la calidad de los materiales, las condiciones de curado o defectos en el moldeado. Ambas tipologías de falla comprometen la capacidad portante del material y reducen significativamente su vida útil.

#### 4.7. Comparación de Resultados



*Figura 16 Compresión del Hormigón adicionando ceniza y fibra de coco*

*Fuente: Elaboración Propia*

La gráfica presenta un análisis comparativo de la resistencia a compresión de diferentes mezclas de hormigón que incorporan ceniza de bagazo de caña y fibras de coco en distintas proporciones, en comparación con un hormigón base.

**Mayor Resistencia:** La mezcla que presentó la mayor resistencia a compresión a los 28 días fue la de 4% de ceniza y 1% de fibra de coco, alcanzando un valor de 236.74 kg/cm<sup>2</sup>. Esta combinación parece haber generado una sinergia entre los aditivos, optimizando el desempeño del hormigón.

**Menor Incremento:** La mezcla que presentó el menor incremento en la resistencia fue la de 1% de ceniza y 4% de fibra de coco. No superó al hormigón base, su crecimiento fue más moderado, alcanzando 108.98 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Esto sugiere que una proporción mayor de fibra de coco, en este caso, podría no haber contribuido de manera tan efectiva al aumento de la resistencia como la combinación de ceniza y fibra en proporciones más equilibradas.

## Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

Después de haber realizado los ensayos respectivos se puede concluir que la que la incorporación de ceniza de bagazo de caña y fibras de coco en el hormigón tiene un impacto significativo en el desarrollo de su resistencia a compresión. Se observó que la mayoría de las mezclas con aditivos superaron en resistencia al hormigón de control, evidenciando el potencial de estos materiales como sustitutos parciales de los agregados tradicionales.

La mezcla que presentó el mejor desempeño en términos de resistencia a compresión fue aquella que contenía un 4% de ceniza de bagazo de caña y un 1% de fibras de coco. Esta combinación optimizó la sinergia entre los aditivos, resultando en un aumento considerable de la resistencia a lo largo del tiempo de curado. Por otro lado, la mezcla con un 1% de ceniza y un 4% de fibra de coco, presentó un incremento menos pronunciado, sugiriendo que una proporción mayor de fibra de coco podría no ser tan beneficiosa en términos de resistencia.

Tras realizar los ensayos siguiendo la norma ASTM C39/C39M, se observó que los cilindros de hormigón modificados con fibras de coco y cenizas de bagazo de caña mostraron una mejora en la resistencia a la compresión en comparación con las muestras de control. Esta mejora fue más significativa a los 28 días de curado, con una resistencia máxima de 236.74 kg/cm<sup>2</sup> correspondiente a la mezcla que contiene 4% de ceniza de bagazo de caña y un 1%,

demostrando que los materiales alternativos pueden reforzar el hormigón y cumplir con los requisitos estructurales.

Al comparar los resultados de los ensayos, se evidenció que las mezclas de hormigón que incorporan fibras de coco y cenizas del bagazo de caña presentaron un incremento en la resistencia a compresión de hasta 236.74 kg/cm<sup>2</sup> en comparación con el hormigón convencional. Este aumento se atribuye a la capacidad de las fibras de mejorar la tenacidad del hormigón y a la acción pozzolánica de las cenizas, que contribuye a la formación de compuestos de hidratación adicionales. Los resultados obtenidos sugieren que la sustitución parcial de cemento por cenizas de bagazo de caña y la adición de fibras de coco pueden ser una alternativa viable para mejorar el desempeño del hormigón.

Los resultados de este estudio demuestran el potencial de las fibras de coco y las cenizas del bagazo de caña como aditivos para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón. Sin embargo, es importante destacar que la optimización de las proporciones de estos materiales es fundamental para obtener los mejores resultados ya que como es el caso de la mezcla de 1% de cenizas de bagazo de caña y 4% de fibras de coco, en vez de mejorar la resistencia del hormigón esta decreció considerablemente en comparación a la del hormigón base siendo esta de 108.98 kg/cm<sup>2</sup> en el día 28 de curado. Además de la mejora en la resistencia a compresión, se espera que la incorporación de estos aditivos también tenga un impacto positivo en otras propiedades del hormigón, como la durabilidad y la resistencia a la fisuración.

La mezcla de hormigón base muestra una tendencia a fallar principalmente por fractura en el árido y presenta fisuras verticales en ambos extremos. Esto sugiere que la resistencia del hormigón base está más influenciada por la cohesión de sus agregados internos que por otros factores estructurales externos.

Se concluye que el hormigón con 1% de ceniza y 4% de coco, las fisuras verticales en los extremos y las fracturas diagonales sin fisuras son comunes, lo cual indica que la adición tanto de ceniza como del coco puede debilitar la cohesión longitudinal del material, creando puntos de estrés que favorecen fallas verticales y diagonales. En el hormigón con 2.5% de ceniza y 2.5% de coco presenta fracturas a los lados en los extremos superior o inferior, así como conos en un extremo con fisuras verticales, estas fallas sugieren que esta proporción de ceniza y coco contribuye a una distribución irregular de tensiones, probablemente debido a diferencias en la cohesión y resistencia en el interior de la mezcla. Finalmente, en el hormigón con 4% de ceniza y 1% de coco, la fractura diagonal sin fisuras y las fisuras en la cabecera son predominantes. Esto indica que esta mezcla podría ser más propensa a fallas diagonales bajo compresión, posiblemente por la influencia de la ceniza en la matriz de cemento, que reduce la capacidad de soportar tensiones laterales.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar estudios adicionales para determinar la dosificación óptima de fibras de coco y cenizas de bagazo de caña en la mezcla de hormigón. Ensayos previos muestran que la combinación de 4% de ceniza y 1% de fibra de coco generó un incremento significativo en la resistencia a la compresión, alcanzando valores de 236.74 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Sin embargo, es necesario validar esta proporción en diferentes condiciones climáticas y de curado para asegurar su aplicabilidad en diversos contextos.

También se recomienda asegurar un estricto control de calidad de los agregados gruesos y del agua utilizada en la mezcla. De acuerdo con la normativa NTE INEN 856 (2010), el porcentaje de absorción del agregado grueso debe ser menor al 2% para garantizar la durabilidad del hormigón. En este caso, el valor reportado de 1.34% es aceptable, pero su

variación podría afectar la trabajabilidad y la consistencia de las mezclas con adiciones de fibra y ceniza.

Se recomienda realizar ensayos de durabilidad a largo plazo en hormigones modificados con fibras de coco y cenizas de bagazo, evaluando su comportamiento frente a ambientes agresivos y ciclos de humedad-sequedad. El estudio ha demostrado una mejora en la resistencia a compresión, pero es esencial garantizar que esta mejora se mantenga bajo condiciones de exposición prolongada.

## ANEXOS

### Anexo 1. Materia prima, ceniza, estopa, agregados.







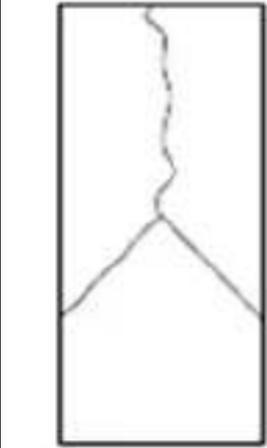
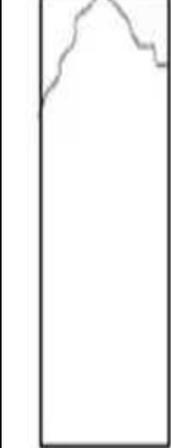
Anexo2. Proceso del Hormigón





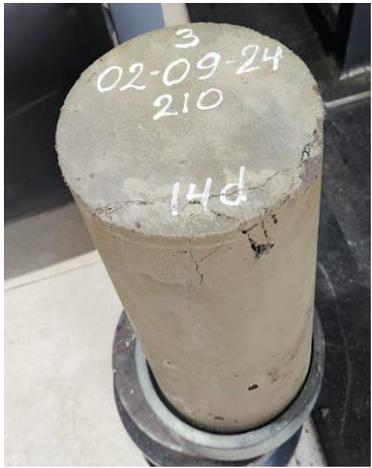
*Anexo 3. Tipos de fallas presentes al realizarse los ensayos de compresión*

*Tabla 17: Hormigón base  $f'c$  210*

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS (HORMIGÓN BASE $f'c$ 210)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	153	243.1	183,85	13,22	134,83	II
II	152	262.3	181,45	14,45	147,4	VI
<b>Probeta I</b>				<b>Probeta II</b>		
						

Fuente: Elaboración Propia

*Tabla 18: Ensayos de resistencia a compresión a la edad de 14 días (hormigón base  $f'c$  210)*

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 14 DÍAS (HORMIGÓN BASE $f'c$ 210)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	152	299,8	181,45	16,52	168.47	V
II	150	282,6	176,71	15,99	163.07	VI
<b>Probeta I</b>				<b>Probeta II</b>		
						

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 19:** Ensayos de resistencia a compresión a la edad de 28 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(m <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	151	381,1	179,07	21,28	217.01	V
II	151	384,9	179,07	21,5	219.17	V
Probeta I			Probeta II			
						

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 20:** Resistencia a compresión del hormigón con 1% ceniza y 4% coco (kg/cm<sup>2</sup>) a los 7 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	154	172,5	186,26	9,26	94,44	IV
II	154	154,7	186,26	8,3	84,69	V
Probeta I			Probeta II			
						

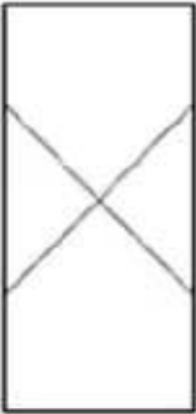
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 21:** Hormigón con 1% ceniza y 4% coco (kg/cm<sup>2</sup>), a los 14 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 14 DÍAS							
Probeta	Diámetro(m)	Carga(KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia(Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	
I	151	161,3	179,07	9,01	91.85	II	
II	150	139,8	176,71	7,91	80.67	III	
Probeta I			Probeta II				
							

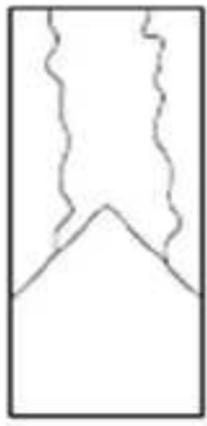
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 22:** Resistencia a compresión del hormigón con 1% ceniza y 4% coco (kg/cm<sup>2</sup>), a los 28 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS							
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla	
I	150	209,8	176,71	11,87	121.06	I	
II	150	167,9	176,71	9,5	96.89	II	
Probeta I			Probeta II				
							

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 23:** Resistencia a compresión del hormigón con 2.5% ceniza y 2.5% coco (kg/cm<sup>2</sup>) a los 7 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	152	276,8	181,45	15,25	155,55	II
II	152	310,7	181,45	17,12	164,6	VI
Probeta I			Probeta II			
						

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 24:** Resistencia a compresión del hormigón con 2.5% ceniza y 2.5% coco (kg/cm<sup>2</sup>) a los 14 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 14 DÍAS						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga(KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia(Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	152	343,8	181,45	18.95	193.2	I
II	150	331	176,71	18.73	191	IV
Probeta I			Probeta II			
						

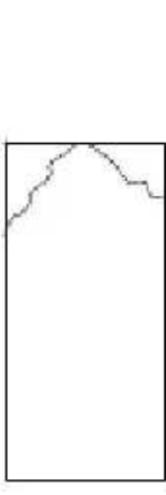
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 25:** Resistencia a compresión del hormigón con 2.5% ceniza y 2.5% coco (kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(m <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	150	413,5	176,71	23,4	238.61	V
II	150	401,7	176,71	22,73	231.8	IV
Probeta I			Probeta II			
						

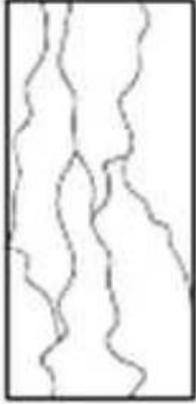
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 26:** Resistencia a compresión del hormigón con 4% ceniza y 1% coco (kg/cm<sup>2</sup>) a los 7 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	152	262,9	181,45	14,49	147,74	IV
II	152	315,6	181,45	17,39	177,35	VI
Probeta I			Probeta II			
						

Fuente:Elaboración Propia

**Tabla 27:** Resistencia a compresión del hormigón con 4% ceniza y 1% coco (kg/cm<sup>2</sup>) a los 14 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 14 DÍAS						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga(KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia(Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	152	340,5	181,45	18,77	191.35	V
II	151	344,9	179,07	19,26	196.39	III
Probeta I				Probeta II		
						

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 28:** Resistencia a compresión del hormigón con 4% ceniza y 1% coco (kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
I	151	415,4	179,07	23,2	236,54	V
II	151	416,1	179,07	23,24	236,94	VI
Probeta I				Probeta II		
						

Fuente: Elaboración Propia

**HOJA DE CAMPO PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS  
GEOTECNIA-CONCRETO-VÍAS-MATERIALES**

Datos de las probetas																	
N°	DESCRIPCIÓN	Dectos			Cavidades		Segregación		Acabado Superficial			Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Masa (Kg)	Fecha de la muestra	Carga (KN)	Falla
		N	FS	FI	Normal	Grande	Si	No	B	R	M						
1	"P1" HORMIGÓN BASE Fc 210	✓			✓			✓	✓			153	301	12.9	02/09/2024	243.1	II
2	"P2" HORMIGÓN BASE Fc 210	✓			✓			✓	✓			152	304	13.026	02/09/2024	262.3	VI
3	"P1" HORMIGÓN CON 1% CENIZA Y 4% COCO	✓			✓			✓	✓			154	306	12.87	02/09/2024	172.5	IV
4	"P2" HORMIGÓN CON 1% CENIZA Y 4% COCO	✓			✓			✓	✓			154	306	13.122	02/09/2024	154.7	V
5	"P1" HORMIGÓN CON 2.5% CENIZA Y 2.5% COCO	✓			✓			✓	✓			152	306	12.58	02/09/2024	276.8	II
6	"P2" HORMIGÓN CON 2.5% CENIZA Y 2.5% COCO	✓			✓			✓	✓			152	306	13.03	02/09/2024	310.7	VI
7	"P1" HORMIGÓN CON 4% CENIZA Y 1% COCO	✓			✓			✓	✓			152	301	13.14	02/09/2024	262.9	IV
8	"P2" HORMIGÓN CON 4% CENIZA Y 1% COCO	✓			✓			✓	✓			152	306	12.74	02/09/2024	315.6	VI

Tipo de falla		Defectos/Observaciones	Tipo de falla			
1	Conos en ambos extremos fisuras en cabecera.	Defecto ninguno + Fractura superior	"1"		"3"	"5"
2	Conos en un extremo fisuras verticales en cabecera	Cavidades: Normal	"2"		"4"	"6"
3	Fisuras verticales, columna en ambos extremos	Segregación: Sin segregación				
4	Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes	Fractura en árido				
5	Fractura a los lados en el extremo superior o inferior	Acabado superficial : bueno				
6	Similar al tipo "3" pero en un extremo esta la punta					

*Figura 17 Datos obtenidos del ensayo a compresión de los cilindros a la edad de 7 días*

*Fuente: Elaboración propia*



**HOJA DE CAMPO PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS  
GEOTECNIA-CONCRETO-VÍAS-MATERIALES**

Datos de las probetas																	
N°	DESCRIPCIÓN	Dectos			Cavidades		Segregación		Acabado Superficial			Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Masa (Kg)	Fecha de la muestra	Carga (KN)	Falla
		N	FS	F1	Normal	Grande	Si	No	B	R	M						
1	"P1" HORMIGÓN BASE Fc 210	✓			✓			✓	✓			152	298	12.98	03/09/2024	299.8	V
2	"P2" HORMIGÓN BASE Fc 210	✓			✓			✓	✓			150	303	13	03/09/2024	282.6	VI
3	"P1" HORMIGÓN CON 1% CENIZA Y 4% COCO	✓			✓			✓	✓			151	300	12.87	03/09/2024	161.3	II
4	"P2" HORMIGÓN CON 1% CENIZA Y 4% COCO	✓			✓			✓	✓			150	303	12.71	03/09/2024	139.8	III
5	"P1" HORMIGÓN CON 2.5% CENIZA Y 2.5% COCO	✓			✓			✓	✓			152	303	12.95	03/09/2024	343.8	I
6	"P2" HORMIGÓN CON 2.5% CENIZA Y 2.5% COCO	✓			✓			✓	✓			150	309	12.6	03/09/2024	331	IV
7	"P1" HORMIGÓN CON 4% CENIZA Y 1% COCO	✓			✓			✓	✓			152	299	13.06	03/09/2024	340.5	V
8	"P2" HORMIGÓN CON 4% CENIZA Y 1% COCO	✓			✓			✓	✓			151	299	12.74	03/09/2024	344.9	III

Tipo de falla		Defectos/Observaciones	Tipo de falla					
1	Conos en ambos extremos fisuras en cabecera.	Defecto ninguno + Fractura superior	"1"		"3"		"5"	
2	Conos en un extremo fisuras verticales en cabecera	Cavidades: Normal	"2"		"4"		"6"	
3	Fisuras verticales, columna en ambos extremos	Segregación: Sin segregación						
4	Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes	Fractura en árido						
5	Fractura a los lados en el extremo superior o inferior	Acabado superficial : bueno						
6	Similar al tipo "3" pero en un extremo esta la punta							

*Figura 18* Datos obtenidos del ensayo a compresión de los cilindros a la edad de 14 días

Fuente: Elaboración propia



## HOJA DE CAMPO PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS GEOTECNIA-CONCRETO-VÍAS-MATERIALES

Datos de las probetas																	
N°	DESCRIPCIÓN	Dectos			Cavidades		Segregación		Acabado Superficial			Diametro (mm)	Longitud (mm)	Masa (Kg)	Fecha de la muestra	Carga (KN)	Falla
		N	FS	F1	Normal	Grande	Sí	No	B	R	M						
1	"P1" HORMIGÓN BASE Fc 210	✓			✓			✓	✓			151	303	12.98	01/10/2024	381.1	V
2	"P2" HORMIGÓN BASE Fc 210	✓			✓			✓	✓			151	303	13	01/10/2024	384.9	V
3	"P1" HORMIGÓN CON 1% CENIZA Y 4% COCO	✓			✓			✓	✓			150	300	12.87	01/10/2024	209.8	I
4	"P2" HORMIGÓN CON 1% CENIZA Y 4% COCO	✓			✓			✓	✓			150	300	12.71	01/10/2024	167.9	II
5	"P1" HORMIGÓN CON 2.5% CENIZA Y 2.5% COCO	✓			✓			✓	✓			150	300	12.95	01/10/2024	413.5	V
6	"P2" HORMIGÓN CON 2.5% CENIZA Y 2.5% COCO	✓			✓			✓	✓			150	300	12.6	01/10/2024	401.7	IV
7	"P1" HORMIGÓN CON 4% CENIZA Y 1% COCO	✓			✓			✓	✓			151	302	13.06	01/10/2024	415.4	V
8	"P2" HORMIGÓN CON 4% CENIZA Y 1% COCO	✓			✓			✓	✓			151	301	12.74	01/10/2024	416.1	VI

Tipo de falla	Defectos/Observaciones	Tipo de falla			
1	Conos en ambos extremos fisuras en cabecera. Defecto ninguno +Fractura superior				
2	Conos en un extremo fisuras verticales en cabecera Cavidades: Normal				
3	Fisuras verticales, columna en ambos extremos Segregación: Sin segregación				
4	Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes Fractura en árido				
5	Fractura a los lados en el extremo superior o inferior Acabado superficial : bueno				
6	Similar al tipo "3" pero en un extremo esta la punta				

Figura 19 Datos obtenidos del ensayo a compresión de los cilindros a la edad de 7 días

Fuente: Elaboración propia

## BIBLIOGRAFÍA

- Addis, B. (2006). *Building with Reclaimed Components and Materials: A Design Handbook for Reuse and Recycling*. Obtenido de <https://www.routledge.com/Building-with-Reclaimed-Components-and-Materials-A-Design-Handbook-for-Reuse-and-Recycling/Addis/p/book/9780367577872>
- Ali, M., Liu, A., Sou, H., & Chouw, N. (2012). Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 814-825. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811007586?via%3Dihub>
- Ashby, M. (2012). *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*. Butterworth-Heinemann. (Second, Ed.) Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Y2qghvWlj1YC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Materials+and+the+Environment:+Eco-Informed+Material+Choice.+Butterworth-Heinemann.&ots=MOqk3EP3z4&sig=1NG4ivfFUYnoA28q2-cGa\\_Au32Q#v=onepage&q=Materials%20and%20the%20Environment](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Y2qghvWlj1YC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Materials+and+the+Environment:+Eco-Informed+Material+Choice.+Butterworth-Heinemann.&ots=MOqk3EP3z4&sig=1NG4ivfFUYnoA28q2-cGa_Au32Q#v=onepage&q=Materials%20and%20the%20Environment)
- Bilba, K., & Arsène, M. (2008). Siliceous by-products as mineral admixtures in eco-efficient concrete. *Construction and Building Materials*, 1483-1490.
- Bribián, I., Capilla, A., & Usón, A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132310003549?via%3Dihub>
- Brundtland, G. (1987). *Nuestro Futuro Común*. Obtenido de <https://chatgpt.com/g/g-kZ0eYXlJe-scholar-gpt/c/433dc18e-b5d9-4aca-bfaa-adfa9ad6b356>
- Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Chalee, W., & Rattanasak, U. (2008). Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers used as an additive in lightweight oil palm shell geopolymer. *Construction and Building Materials*, 2108-2115.
- Díaz, L., Hernández, M., & Salazar, F. (2015). Influence of alkali activation on pozzolanic activity and mechanical strength of sugarcane bagasse ash-based concrete. *Construction and Building Materials*, 679-688.

- Fernández, D., Suárez, E., & Martín, A. (2014). Drying shrinkage and durability of sugarcane bagasse ash concrete. . *Cement and Concrete Composites*, 59-67.
- Ganesan, N., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2018). Coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 118-128.
- Ganesan, N., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2018). Coconut fibre reinforced concrete.
- Ganesan, N., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2018). *Coconut fibre reinforced concrete. Construction and Building Materials*. Amsterdam: Elsevier.
- García, F., López, M., & Pérez, J. (2016). sugarcane bagasse ash to enhance the corrosion resistance of reinforced concrete structures. . *Cement and Concrete Research*,, 90-99.
- González, F. (2020). Chemical and Physical Properties Evaluation of Sugarcane Bagasse Ash for Concrete Applications. *Concrete Technology and Research*, 210-225.
- González, M., & Calderón, M. (2020). Sustainable Construction Practices and LEED Certification. *Journal of Green Building*, 85-102. Obtenido de <https://www.journalofgreenbuilding.com/articles/10.3992/1943-4618.15.2.85>
- Green, R., Andersson , A., & Mellqvist, J. (2020). *Environmental impact of construction industry. Journal of Cleaner Production*. Amsterdam: Elsevier.
- Gutiérrez, J., Sánchez, R., & Torres, P. (2021). Fire resistance of concrete containing sugarcane bagasse ash as partial replacement of cement. *Construction and Building Materials*,, 284.
- Hernández, A., Gómez, J., & López, L. (2017). Influence of fineness of sugarcane bagasse ash on workability and mechanical properties of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 265-273.
- Juárez, A., & Morales, M. (2023). Improved mechanical properties of concrete using sugarcane bagasse ash as partial cement replacement. *Construction and Building Materials*, 126983.
- Kibert, C. (2016). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Charles-J-Kibert/dp/1119055172>
- López, G. (2022). Environmental Impact Assessment of Sugarcane Bagasse Ash Utilization in Concrete. *Environmental Science and Sustainable Development*,, 30-45.
- López, R., Martínez, P., & Pérez, C. (2018). Surface treatment of sugarcane bagasse ash for chemical resistance improvement of concrete. *Cement and Concrete Research*, 1-9.
- Martínez, J., & Rodríguez, M. (2019). Bond strength and abrasion resistance of concrete containing sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 493-502.
- Medina, C., Partal, P., & Cabeza, L. (2017). Environmental impact assessment of using sugarcane bagasse ashes in concrete. . *Journal of Cleaner Production*, 147-156.
- Meyer, C. (2009). The Greening of the Concrete Industry. *Cement and Concrete Composites*, 601-605.

- Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 601-605. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946509000031?via%3Dihub>
- Mohammed, K., Tauseef, A., Mohammed, J., Mohd , A., Md , A., & Juveria, K. (2 de February de 2022). Study of Mechanical Properties of Concrete by. Obtenido de <https://ijcrt.org/papers/IJCRT2202256.pdf>
- Montes, P. (2021). Sugarcane Bagasse Ash as Soil Stabilizer: Applications in Road Construction. *Civil Engineering Innovations*, 78-91.
- Oladele, I., Adelani, S., & Makinde-Isola, B. (2022). Coconut/coir fibers, their composites and applications. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128245286000047>
- Oliveira, F., Teixeira, D., & Silva, R. (2019). Sustainable coconut fiber reinforced concrete: A review. Artículo. *Construction and Building Materials*. 451-462.
- Oliveira, F., Teixeira, D., & Silva, R. (2019). *Sustainable coconut fiber reinforced concrete: A review*. *Construction and Building Materials*. Amsterdam: Elsevier.
- Pacheco, F., & Jalali, S. (2011). Cementitious Building Materials Reinforced with Vegetable Fibres: A Review. *Construction and Building Materials*, 25(2), 575-581.
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. *Construction and Building Materials*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024>
- Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L., Labrincha, J., & Magalhães, A. (2013). Eco-efficient construction and building materials: Life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies. *Woodhead Publishing*. Obtenido de <https://www.amazon.com/Eco-efficient-Construction-Building-Materials-Eco-Labeling/dp/0857097679>
- Pérez, G., & Hernández, M. (2020). Environmental impact of using sugarcane bagasse ash in concrete production: A life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*. *Journal of Cleaner Production*, 121126.
- Ramakrishna, G., & Sundararajan, T. (2005). Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. *Cement and Concrete Composites*, 575-582.
- Ramírez, A. (2023). Specific Applications of Sugarcane Bagasse Ash in Critical Infrastructures: Case Studies in Bridges and Dams. *Structural Engineering Journal*, 275-290.
- Ríos, M. (2020). Incorporation of Nanomaterials with Sugarcane Bagasse Ash for Enhanced Strength and Durability of Concrete. *Nanoconcrete Research Journal*, 210-2025.
- Rodríguez, L., Flores, E., & Ramírez, V. (2022). Sulfate resistance and flexural strength of concrete containing sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 123984.

- Ruiz, D. (2018). Innovations in Regulations and Standards for Sugarcane Bagasse Ash in Construction. *Construction Codes and Standards Review*, 12-25.
- Sánchez de Rojas, A. (2023). Improved Dispersion and Compatibility Techniques for Sugarcane Bagasse Ash in Concrete Matrix. *Journal of Construction Materials*, 112-125.
- Sharma, R., Sharma, V., & Singh, S. (2021). Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in concrete: A review. *Construction and Building Materials*,.
- Sharma, R., Sharma, V., & Singh, S. (2021). *Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in concrete: A review*. Construction and Building Materials. Amsterdam: Elsevier.
- Sharma, S., & Singh, B. (2020). *Use of sugarcane bagasse ash in concrete – A review*. Construction and Building Materials,. Amsterdam: Elsevier.
- Silva, R., de Brito, J., & Dhir, R. (2017). Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. *Journal of Cleaner Production*, 143, 598-614.
- Sivakumar, V., & Gomathi, P. (2019). Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement concrete. *Construction and Building Materials*, 203, 707-715. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946515000347>
- Sosa, J. (2019). Large-Scale Production and Logistics Strategies for Sugarcane Bagasse Ash in Construction. *Industrial Engineering and Logistics*, 150-165.
- Torres, E. (2021). Innovations in Processing and Treatment of Sugarcane Bagasse Ash for Quality Enhancement in Concrete. *Construction Materials Engineering Review*, 88-102.
- Tripathi, S., & Gupta, R. (2022). Advanced Thermal Treatment Methods for Enhancing Reactivity of Sugarcane Bagasse Ash in Concrete. *Sustainable Construction Technology Journal*, 45-58.
- Tripathy, A., & Acharya, P. (2022). Characterization of bagasse ash and its sustainable use in concrete as a supplementary binder. *Construction and Building Materials*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126685>