



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y
DEL COMPORTAMIENTO HUMANO**

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

**Análisis comparativo de la resistencia del concreto simple de
240 kg/cm² en las diferentes aplicaciones de fibras de maíz a
la mezcla a los 7, 14 y 28 días.**

Daniela José Salazar Herrera

Quito, 20 de junio de 2025



DECLARACION JURAMENTADA

Yo, SALAZAR HERRERA DANIELA JOSÉ, con cédula de identidad # 060535283-0, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual que correspondan relacionados a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Quito, 20 de junio de 2025

Daniela José Salazar Herrera

Correo electrónico: djsalazar.civ@uisek.edu.ec



DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“Análisis comparativo de la resistencia del concreto simple de 240 kg/cm² en las diferentes aplicaciones de fibras de maíz a la mezcla a los 7, 14 y 28 días”

Realizado por:

DANIELA JOSÉ SALAZAR HERRERA

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA CIVIL

ha sido dirigido por el profesor

HUGO MARCELO OTAÑÉZ

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA



Título del trabajo de titulación

Por

Daniela José Salazar Herrera

Junio 2025

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 todas las personas que de una u otra forma, han sido fundamentales para culminar esta etapa.

Primero a Dios, por su bendición constante durante todos los días de mi vida, por su ayuda y amor incondicional, ya que sin el este camino ahora culminado ni siquiera hubiera empezado, y sobre todo por darme fortaleza para nunca rendirme.

A mis padres José Luis y Paola por darme la oportunidad de estudiar, su amor incondicional, su guía constante y apoyo en cada etapa de mi vida, siendo ellos mi inspiración para acabar mis estudios, les admiro profundamente por su inteligencia, esfuerzo y amor.

A mis hermanos, abuelitos y familia por siempre estar pendientes de mí, nunca dudar de mis capacidades, y por celebrar conmigo cada logro a lo largo de los años.

A mi novio, por ser parte fundamental de mi crecimiento personal, y motivación todos los días.

A mí misma, ya que este es el logro personal del que siempre estaré orgullosa.

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por su bendición, su amor y por ser fiel siempre conmigo, porque su bendición fue lo más importante para seguir.

Agradezco profundamente a mis padres por su esfuerzo económico y emocional, por nunca dejarme sola, por nunca hacerme sentir lo que es carencia, les agradezco por todos los valores que me otorgaron y por siempre ver lo mejor de mí, su ejemplo es lo que me ha hecho llegar hasta acá, no podría pedir mejores padres y mentores de vida ya que de ellos he aprendido a diario.

Agradezco a mis abuelitos por ser los más insistentes y por su ayuda indispensable en mi trabajo de tesis, sin esperar nada a cambio.

Agradezco a cada persona que su ayuda fue parte de esto, mis amigas las cuales me brindaron su ayuda constante para culminar este trabajo, a mi novio Ariel por su paciencia, su fuerza, y por ser mi apoyo emocional e incondicional, a mis hermanos Sofí y Martín que de una u otra forma estuvieron presentes a pesar de todo ellos son incondicionales en mi vida y mis logros.

Agradecimiento importante a mi misma por dejar de lado todos mis sueños y ponerme un logro personal como terminar una carrera tan importante como ingeniería civil, no ha sido fácil ha sido un constante reto y ver mis sueños cada vez más lejos, pero lo he logrado.

Un sincero agradecimiento para mi tutor Hugo Otáñez, quien fue el mentor que estuvo desde el primer hasta el último día académico, un agradecimiento también a todos mis profesores por compartir su conocimiento a diario, a compañeros de clase ya que fueron parte esencial de este logro, y un agradecimiento profundo a la UISEK por ser una universidad inolvidable.



Este trabajo de tesis fue realizado bajo el Programa de Investigación:

Nombre de Programa

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Proyecto de Investigación de la Dirección de Investigación e Innovación

DII-UISEK-PXXXXXX_X.X



Resumen

En la actualidad, el incremento en la conciencia ambiental ha destacado la urgencia de abordar prácticas destructivas, como la incineración de desechos de la cosecha de maíz en las zonas rurales de la sierra ecuatoriana, que conlleva daños irreversibles al entorno natural. Para contrarrestar esta problemática, se propone aprovechar los residuos orgánicos generados (fibras de maíz), sometiéndolos a diversos tratamientos, como secado, triturado y pulverización, con el objetivo de explorar diversas estrategias de integración en el hormigón y, así, otorgar una segunda vida a estos desechos.

Esta investigación se centra en generar un análisis exhaustivo en la incorporación de fibras de maíz en el hormigón de 240 kg/cm^2 , con el objetivo primordial de evaluar su impacto en la resistencia y propiedades mecánicas del material.

La metodología incluye la integración de las fibras de maíz previamente tratadas en el hormigón, seguida de la realización de pruebas mecánicas, se llevarán a cabo ensayos tanto en hormigón simple como en hormigón modificado con la fibra añadida.

El objetivo es analizar los resultados obtenidos a partir de estas pruebas y comparaciones, con el fin de determinar la metodología más efectiva para la integración de fibras de maíz en el hormigón, considerando tanto la optimización de las propiedades del material como la mitigación del impacto ambiental derivado de la gestión de residuos orgánicos. Esta investigación aspira a ofrecer soluciones tangibles a dos problemáticas urgentes: la gestión de desechos orgánicos y la mejora continua de las propiedades del hormigón a lo largo del tiempo.

Palabras clave: Hormigón, Fibras de maíz, Resistencia, Análisis comparativo, Desecho orgánico

Abstract

Today, increased environmental awareness has highlighted the urgency of addressing destructive practices such as the incineration of corn harvest waste in rural areas of the Ecuadorian highlands, which causes irreversible damage to the natural environment. To counter this problem, it is proposed to take advantage of the organic waste generated (corn fibers), subjecting them to various treatments, such as drying, crushing and pulverizing, with the aim of exploring various strategies for integration into concrete and, thus, giving a second life to this waste.

This research focuses on generating a comprehensive analysis of the incorporation of corn fibers into 240 kg/cm² concrete, with the primary objective of evaluating its impact on the strength and mechanical properties of the material.

The methodology includes the integration of previously treated corn fibers into the concrete, followed by mechanical testing. Tests will be carried out on both plain concrete and modified concrete with the added fiber.

The objective is to analyze the results obtained from these tests and comparisons, in order to determine the most effective methodology for the integration of corn fibers into concrete, considering both the optimization of the material's properties and the mitigation of the environmental impact derived from the management of organic waste. This research aims to offer tangible solutions to two urgent problems: the management of organic waste and the continuous improvement of concrete properties over time.

Keywords: Concrete, Corn fibers, Strength, Comparative analysis, Organic waste

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	ix
LISTAS DE TABLAS.....	xiv
LISTAS DE FIGURAS	xvi
Capítulo 1: DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	1
2.1. Contexto del Estudio	6
2.2. Relevancia del estudio.....	7
2.3. Antecedentes.....	8
2.4. Fundamentación teórica.....	10
2.4.1. Introducción al hormigón y sus Componentes Básicos.....	10
2.4.2. Agregados pétreos	13
2.4.3. Propiedades y Requisitos de los Agregados Pétreos	19
2.4.4. Fibras en el Concreto: Tipos y Función.....	29
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	43
3.4.2. Técnicas	43
3.4.3. Instrumentos	44
3.4.5. Proceso para la Obtención de la Fibra de maíz.....	48

Capítulo 4: LEVANTAMIENTO DE DATOS EN CAMPO.....	50
4.1. Ejecución del proyecto	50
4.2. Fuente de las fibras de maíz.	51
4.3. Preparación de las fibras antes de la mezcla	51
4.4. Datos del Proceso de Elaboración de las Probetas	51
4.4.1. Fecha de recolección de datos	51
4.5. Procedimiento de mezclado.....	53
4.5. Método de curado utilizado	57
4.6. Dosificaciones aplicadas a cada mezcla	58
4.6.1. Dosificación para la resistencia especificada $f'_c = 21$ mpa.....	58
4.6.2. Hormigón simple	59
4.6.3. Hormigón con 3% de maíz pulverizado	60
4.6.4. Hormigón con 5% de fibras de maíz	61
4.6.5. Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz triturado	63
Capítulo 5: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	65
5.1. Análisis granulométrico.....	66
5.1.1. Agregado fino	66
5.1.2. Agregado grueso	67
5.2. Ensayo del contenido de Humedad	68
5.3. Ensayos de compresión	69
5.3.1. Hormigón base f'_c 240 (kg/cm^2)	70
5.3.2. Hormigón con 3% de maíz pulverizado	72
5.3.3. Hormigón con 5% de fibras de maíz	74
5.3.4. Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz pulverizado.....	76
5.4. Comparación de Resultados	78

5.5. Tipos de fallas presentes al realizarse los ensayos de compresión.....	79
5.5.1. Hormigón base f'_c 240 kg/cm ²	79
5.5.2. Hormigón con 3% de maíz pulverizado	81
5.5.3. Hormigón con 5% de fibras de maíz	83
5.5.4. Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz triturado.....	85
Capítulo 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
6.1. Conclusiones.....	87
6.2. Recomendaciones	88
ANEXOS	89
Referencias (APA).....	96

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación por Tamaño de Partícula.....	15
Tabla 2 Clasificación por Origen.....	16
Tabla 3 Clasificación por Densidad.....	16
Tabla 4 Cantidad máxima de fibras.	35
Tabla 5 Tamaño máximo de árido mm.....	36
Tabla 6 Fecha y hora de la elaboración de cada lote de probetas.....	51
Tabla 7 Dosificación en Parihuelas	58
Tabla 8 Cilindro de ensayo de hormigón simple	59
Tabla 9 Cilindro de ensayo hormigón con 3% de hormigón pulverizado	60
Tabla 10 Cilindro de Hormigón con 5% de fibras de maíz	61
Tabla 11 Componentes del cilindro de Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz triturado.....	63
Tabla 12 Análisis granulométrico del agregado fino.....	66
Tabla 13 Análisis granulométrico del agregado grueso	67
Tabla 14 Ensayos del contenido de la humedad.....	68
Tabla 15 Ensayos de compresión de cilindros.....	69
Tabla 16 Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 7 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ²)	79
Tabla 17 Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 14 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ²)	79
Tabla 18 Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 28 días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ²)	80
Tabla 19 Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 7 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 3%De Maíz Pulverizado)	81

Tabla 20 Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 14 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 3%De Maíz Pulverizado)	81
Tabla 21 Ensayos de resistencia a compresión a la edad de 28 días Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 3%De Maíz Pulverizado).....	82
Tabla 22 Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 7 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 5%De Fibras De Maiz)	83
Tabla 23 Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 14 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 5%De Fibras De Maiz)	83
Tabla 24 Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 28 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 5%De Fibras De Maiz)	84
Tabla 25 Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 28 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 2% De Fibras De Maíz Y 2% De Maíz Triturado).....	85
Tabla 26 Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 28 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 2% De Fibras De Maíz Y 2% De Maíz Triturado).....	85
Tabla 27 Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 28 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm ² Con 2% De Fibras De Maíz Y 2% De Maíz Triturado).....	86

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 Principales componentes del concreto	10
Figura 2 Característica del Hormigón	11
Figura 3 Agregados Pétreos	14
Figura 4 Propiedades de los agregados Pétreos.....	20
Figura 5 Requisitos de los agregados Pétreos	22
Figura 6 Dosificación y Preparación de Concreto.....	26
Figura 7 Características de la Fibra de maíz	29
Figura 8 Fibra de maíz utilizada.....	50
Figura 9 Hormigón simple de 240 kg/cm ²	53
Figura 10 Hormigón Simple de 240 kg/cm ² + Fibra de maíz de cáñamo de 6cm de largo	54
Figura 11 Hormigón Simple de 240 kg/cm ² + Fibra de maíz de cáñamo de 6cm de largo + Maíz seco triturado.....	55
Figura 12 Hormigón Simple de 240 kg/cm ² + Maíz seco pulverizado	56
Figura 13 Método de curado utilizado	57
Figura 14 Curva granulométrica del agregado fino.....	67
Figura 15 Curva granulométrica del agregado grueso	68
Figura 16 Resistencia del hormigón f'c 240(kg/cm ²)	70
Figura 17 Resistencia del Hormigón con 3% de maíz pulverizado	72
Figura 18 Hormigón con 5% de fibras de maíz.....	74
Figura 19 Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz pulverizado.....	76
Figura 20 Resultados de los ensayos de compresión de cilindros de hormigón de f'c=240 kg/cm ²	78

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1	Modelo finura	45
Ecuación 2	Humedad de los agregados	45
Ecuación 3	Densidad y absorción (Peso específico retenido N°4).....	46
Ecuación 4	Peso específico pasa N° 4	47
Ecuación 5	Peso unitario suelto.....	47
Ecuación 6	Esfuerzo de compresión 1.....	71
Ecuación 7	Esfuerzo de comprensión 2.....	73
Ecuación 8	Esfuerzo de comprensión 3.....	75
Ecuación 9	Esfuerzo de comprensión 4.....	77

Capítulo 1: DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Este trabajo se centra en poder analizar el comportamiento de resistencia del hormigón de 240 kg/cm² cuando se le incorporan fibras de maíz, evaluando su desempeño a los 7, 14 y 28, esta idea surge como una respuesta a la búsqueda constante de soluciones en construcción que no solo cumplan con demandas estructurales, sino que también solucione desafíos ambientales que enfrenta la industria al usar componentes químicos muy fuertes.

El incorporar fibras de maíz con el hormigón encontramos una solución innovadora, sostenible y diferente que permite reducir el uso de materiales tradicionales y al mismo tiempo se aprovecha los subproductos agrícolas con el objeto de menorar el impacto ambiental. Para evaluar el desempeño del concreto se realizará ensayos de resistencia a compresión en tres periodos de curado: 7, 14 y 28 días, esto permitirá observar el desempeño progresivo de la resistencia en la mezcla; en cada ensayo se analizarán diferentes proporciones de fibras en la mezcla para así poder determinar cuál de ellas ofrece una mejor combinación.

Los ensayos a compresión permitirán realizar una comparación de la mezcla de fibras con el concreto, los resultados que se obtengan serán claves y relevantes para entender si el maíz puede actuar como un refuerzo natural, mejorando así su durabilidad y minimizar su impacto ambiental.

Sin duda alguna, este estudio espera contribuir al desarrollo de prácticas constructivas más sostenibles y eficientes ofreciendo así una base para explorar el uso de otros subproductos agrícolas en el fortalecimiento de materiales de construcción.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la industria de construcción enfrenta un doble desafío, los cuales son: satisfacer la creciente demanda que hay en materiales de construcción que realmente

sean resistente y durables y por otra parte buscar reducir el impacto ambiental de los productos que sacan a la venta.

En este contexto el concreto es uno de los materiales más utilizados y tiene una huella muy alta de carbono debido a los componentes tradicionales que tiene, esto nos impulsa a buscar una alternativa sostenible que pueda mejorar la problemática encontrada, pero no buscamos que el material sea solamente sostenible sino también esperamos que pueda ser resistente, constituido por propiedades mecánicas adecuadas que al mismo tiempo tenga un valor accesible para que pueda ser rápidamente adquirido en el mercado, dicho de otra manera se busca tener un producto de alta calidad.

Cabe mencionar que este estudio espera trabajar exclusivamente con las fibras del maíz, un producto que no es muy estudiado en la industria de la construcción y bastante cultivado en nuestro país Ecuador por lo tanto este estudio puede aportar en gran manera a la industria de la construcción.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida la incorporación de fibras de maíz afecta la resistencia a compresión del concreto simple de 240 kg/cm² en los intervalos de 7, 14 y 28 días?

1.2.1 Preguntas Accesorias

¿Cómo afecta la mezcla de fibras de maíz en diferentes proporciones la resistencia a compresión del concreto simple de 240 kg/cm²?

¿Qué diferencias se encuentran en la resistencia a compresión del concreto con fibras de maíz a los 7, 14 y 28 días de curado en comparación con el concreto sin fibras?

¿Cuál es la proporción óptima de fibras de maíz en la mezcla para obtener la mayor resistencia a compresión en cada intervalo de tiempo?

¿Qué impacto tiene el uso de fibras de maíz en la sostenibilidad del concreto, en términos de reducción de impacto ambiental y viabilidad económica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Comparar la resistencia y el comportamiento mecánico del hormigón de 240 kg/cm² al incorporar fibras de maíz tratadas, evaluando su desempeño a los 7, 14 y 28 días, para así identificar la mejor opción de diseño sostenible en la construcción.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las propiedades mecánicas de las fibras de maíz (tracción, flexión, humedad, durabilidad) para determinar su viabilidad en el hormigón.
- Dosificar el hormigón de 240 kg/cm² incorporando fibras de maíz tratadas, ajustando la cantidad y tratamiento según las especificaciones.
- Comparar el rendimiento del hormigón con y sin fibras de maíz para así determinar su resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La incorporación de fibras de maíz tratadas en el hormigón de 240 kg/cm² mejora las propiedades mecánicas e incrementando la resistencia a compresión, proporcionando una alternativa sostenible en la construcción, en comparación con el hormigón sin fibras.

1.4.2. Hipótesis Específicas

Las fibras de maíz tratadas al mezclarse con el hormigón mejoran sus propiedades mecánicas, la resistencia a tracción, flexión y durabilidad en comparación con el hormigón sin fibras.

La cantidad de fibras de maíz en el hormigón de 240 kg/cm², dependiendo del tamaño y tratamiento de las fibras, aumenta la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.

El tratamiento y secado adecuado de las fibras de maíz mejorará su integración en la mezcla del hormigón, optimizando sus propiedades mecánicas en comparación con los métodos tradicionales de secado y aplicación de fibras.

1.5. Alcance y Limitaciones

El estudio tiene como alcance evaluar el impacto de la incorporación de fibras de maíz tratadas en el hormigón de 240 kg/cm², específicamente en sus propiedades mecánicas, dándole un énfasis en la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado para esto e efectuará un análisis de las fibras de maíz, donde se tomará en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de las fibras de maíz tratadas, enfocándose en parámetros como la tracción, flexión, humedad, y durabilidad, así también se procederá a dosificar el hormigón con las fibras tratadas para así comparar su comportamiento.

Las mezclas de hormigón serán sometidas a pruebas de resistencia a compresión en intervalos de 7, 14 y 28 días y posterior a ellos se buscará explorar las distintas metodologías de secado y tratamiento para finalmente ofrecer una solución innovadora y ecológica.

En cuanto a las limitaciones que el estudio presenta se encuentra la variabilidad en la disponibilidad y las propiedades de las fibras de maíz tratadas, lo que podría afectar la consistencia de los resultados. Por otro lado, las pruebas se llevarán a cabo en condiciones controladas de laboratorio, lo que no refleja completamente las condiciones reales de construcción, donde factores como la temperatura y la humedad pueden influir en el comportamiento del material, además, el número de muestras utilizadas será limitado, lo que podría restringir la capacidad para extrapolar los resultados a gran escala.

También se debe mencionar que este estudio se enfoca solo en un periodo corto de tiempo, sin abordar los efectos a largo plazo sobre la durabilidad del hormigón con fibras. este análisis se centrará exclusivamente en hormigón con una resistencia de 240

kg/cm², lo que limita la aplicabilidad de los resultados a otras fórmulas de mezcla con diferentes características.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

2.1. Contexto del Estudio

En la actualidad a industria de la construcción moderna enfrenta un reto continuo, el cual es la necesidad de desarrollar materiales más sostenibles y económicos sin comprometer las propiedades mecánicas esenciales, en este contexto, el hormigón, al ser uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, será el centro de esta investigación para mejorar su desempeño a través de la incorporación de aditivos innovadores.

Entre las alternativas que se han explorado, los materiales orgánicos como las fibras vegetales han ganado relevancia debido a sus propiedades potenciales para mejorar ciertas características del hormigón en cuanto a resistencia y durabilidad, a la vez que se ofrecen beneficios medioambientales. Particularmente, las fibras de maíz, un subproducto agrícola que generalmente se desecha y se cultiva mucho en Ecuador representan una opción interesante para la inclusión en mezclas de hormigón, las fibras de este producto al ser tratadas adecuadamente podrían funcionar como una forma de refuerzo en el concreto, mejorando la cohesión de la mezcla y ofreciendo mayor resistencia a la compresión, tracción y flexión.

A través de investigaciones previas, se ha demostrado que la incorporación de fibras vegetales puede mejorar algunas propiedades del concreto, pero el uso específico de fibras de maíz aún no ha sido explorado de manera exhaustiva, especialmente en términos de su dosificación y tratamiento previo, este estudio se ubica dentro de este marco de investigación, con el objetivo de explorar cómo las fibras de maíz tratadas pueden influir en las características mecánicas del hormigón de 240 kg/cm², proporcionando una alternativa más sostenible y económica al mismo tiempo que

contribuye a la gestión de los residuos orgánicos. Al incorporar esta fibra en el hormigón, el estudio busca generar datos relevantes que puedan servir como base para futuras aplicaciones en la construcción sostenible.

2.2. Relevancia del estudio

Este estudio es importante a causa de la creciente necesidad de la industria de la construcción de encontrar soluciones más sostenibles y eficientes. El hormigón, aunque es uno de los materiales más utilizados en la construcción, es también uno de los principales responsables de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) debido a su proceso de fabricación, lo que ha generado un interés creciente en alternativas que reduzcan su impacto ambiental, la búsqueda de materiales más ecológicos y económicamente viables, como el uso de fibras vegetales recicladas, se ha convertido en un área clave de investigación.

La incorporación de fibras de maíz en el hormigón, un material orgánico que de otro modo sería desechado, no solo tiene el potencial de mejorar las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia a la compresión, tracción y flexión, sino que también contribuye a la gestión de residuos agrícolas, además, las fibras vegetales ofrecen ventajas en términos de sostenibilidad, ya que son biodegradables, accesibles y de bajo costo, lo que puede ayudar a reducir el uso de materiales sintéticos que a menudo tienen un impacto ambiental negativo.

Este estudio sin duda alguna presenta una innovación dentro del ámbito de la construcción sostenible, ya que no solo investiga el uso de un material natural y renovable como el maíz, sino que también propone nuevas formas de aplicación y tratamiento de estas fibras para optimizar su inclusión en las mezclas de hormigón. De esta manera, los

resultados obtenidos podrán abrir nuevas posibilidades para la creación de materiales de construcción más ecológicos y con mejores prestaciones, alineándose con los esfuerzos globales por reducir la huella de carbono en la construcción y promover el uso eficiente de los recursos. Además, contribuirá a la expansión de la investigación sobre materiales alternativos, abriendo caminos hacia nuevas metodologías de fabricación de hormigón más responsables con el medio ambiente.

2.3. Antecedentes

El tema de investigación propuesto se centra en realizar un análisis comparativo exhaustivo de diversas metodologías para la incorporación de fibras de maíz en la elaboración de hormigón. En este contexto, se analiza la literatura científica relevante para el estudio, presentando tres referentes teóricos: uno de producción internacional y uno de registro nacional, que fundamentan esta investigación.

Una primera investigación corresponde a John Smith, Dr. María López, y Dr. Ahmed Khan, en donde investigaron el uso de fibras derivadas de desechos agrícolas, incluyendo fibras de maíz, para optimar las características mecánicas de la mezcla de cemento. Se realizaron pruebas comparativas de capacidad de aguante a la compresión y a la flexión del cemento simple con la añadidura de fibras de maíz en diferentes proporciones y se evaluaron los resultados a los 7, 14 y 28 días de curado. El concreto que contiene las fibras de maíz mostró mejoras significativas en la capacidad de aguante de compresión y flexión en comparación con el concreto sin fibras. Los resultados indican que la incorporación de fibras de maíz puede ser una estrategia efectiva para aumentar la durabilidad y la resistencia del concreto. En cuanto a su enfoque metodológico: Se prepararon muestras de concreto simple de 240 kg/cm² con distintas proporciones de fibras de maíz (0.5%, 1.0% y 1.5% en volumen). Las muestras se sometieron a pruebas de capacidad de aguante de compresión y flexión durante los días

7, 14 y 28. Los principales hallazgos permitieron conocer que: A los 7 días, las muestras con 1.0% de fibras de maíz mostraron un incremento del 15% en la capacidad de aguante de compresión. En cambio, en el día 14, las mismas muestras presentaron un aumento del 20% en la capacidad de aguante de compresión. A los 28 días, se observó una mejora del 25% en comparación con el concreto sin fibras.

En cuanto al registro nacional, en la Provincia de Manabí, el estudio de Hernández et al. (n.d.), expone una revisión comparativa de materiales para la formulación del hormigón, utilizando agregados gruesos provenientes de dos canteras ubicadas en la Parroquia de Picoaza, y agregados finos de dos zonas del río Portoviejo. En el cual, se usaron agregados gruesos de la Cantera llamada La Chicha y agregados finos pertenecientes al río Chone. Se contrastaron las características físicas y mecánicas de estos materiales. Se propusieron tres opciones de propuestas para evaluar las resistencias aportadas por las arenas de los ríos Portoviejo y Chone. Además, se compararon los agregados gruesos entre las canteras y finalmente se recogieron muestras de arena de tres zonas meandriiformes de cada río. Por lo que, para cada propuesta se confeccionaron 6 cilindros de concreto por cada meandro, que fueron probados a los días 7, 14 y 28. “Los principales hallazgos permitieron conocer que, las arenas finas de los dos sectores del río Portoviejo y del río Chone no son adecuadas como agregados finos para hormigones con resistencias superiores a $F'c$ 240 kg/cm²”.

Ambos estudios contribuyen significativamente al avance en la comprensión en el ámbito del hormigón y la construcción. El primero, al investigar el uso de fibras de maíz como agregado en el hormigón, ofrece una solución innovadora y sostenible que aprovecha desechos agrícolas para aumentar las características mecánicas del material. Esto no solo promueve prácticas más ecológicas en la construcción, sino que también

proporciona datos concretos sobre cómo estos aditivos afectan la firmeza y la durabilidad del hormigón a diferentes edades de curado.

Por otro lado, el segundo estudio se enfoca en la evaluación comparativa de agregados locales, específicamente las arenas finas de los ríos pertenecientes a Portoviejo y Chone, para determinar su idoneidad en concretos de alta resistencia. Este enfoque práctico es crucial para ingenieros y constructores, ya que brinda datos detallados sobre la selección de materiales locales que optimizan la calidad y durabilidad del hormigón en proyectos de construcción. Ambos estudios, por lo tanto, no solo amplían la comprensión de los materiales y técnicas disponibles para mejorar el concreto, sino que también facilitan la implementación de soluciones más eficientes y sostenibles para la industria constructora.

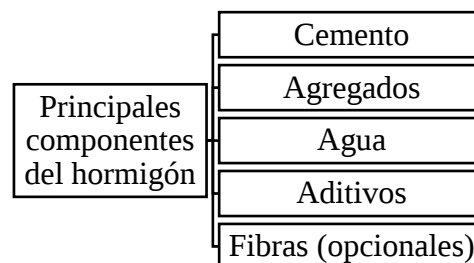
2.4. Fundamentación teórica

2.4.1. Introducción al hormigón y sus Componentes Básicos

El hormigón es uno de los materiales más importantes dentro de la construcción, este es conocido por su resistencia y capacidad de adaptarse a diferentes tipos de estructuras. Para poder obtener un hormigón con las propiedades deseadas, es necesario comprender los componentes que lo componen, los cuales se indican a continuación:

Figura 1

Principales componentes del concreto



Fuente: Información extraída de (Mehta & Monteiro, 2001)

De los componentes señalados en la gráfica anterior podemos indicar que el cemento es el ingrediente principal puesto que une o compacta a todos los demás, el tipo más se utiliza es el cemento Portland, el cual se obtiene a partir de una mezcla de caliza y arcilla, este material, al hidratarse, forma una pasta que se adhiere a los agregados, otorgando al concreto su capacidad para resistir compresión (Mehta & Monteiro, 2001).

Por otro lado, se debe tener en cuenta que los agregados, que ocupan la mayor parte del volumen del concreto, son esenciales no solo para dar la estructura al material, sino también para influir en su durabilidad y resistencia, estos dividen en finos como la arena y gruesos como la grava y su proporción correcta asegura una mezcla homogénea (Neville, A., 2008). El agua, por su parte, activa la reacción química entre el cemento y los agregados, formando una pasta que se endurece con el tiempo, la cantidad que se utilice es crucial ya que su exceso puede debilitar la mezcla (Aïtcin & Flatt, 2015). A todo lo explicado también se le suman los aditivos, que son sustancias añadidas para mejorar propiedades como el tiempo de fraguado o la trabajabilidad del concreto, finalmente la incorporación de fibras, como las de maíz, ha demostrado aumentar la resistencia a la compresión, al mismo tiempo que ofrece una opción más sostenible y económica para la mezcla (Autónoma de Nuevo León et al., 2003).

2.4.1.1. Características del hormigón

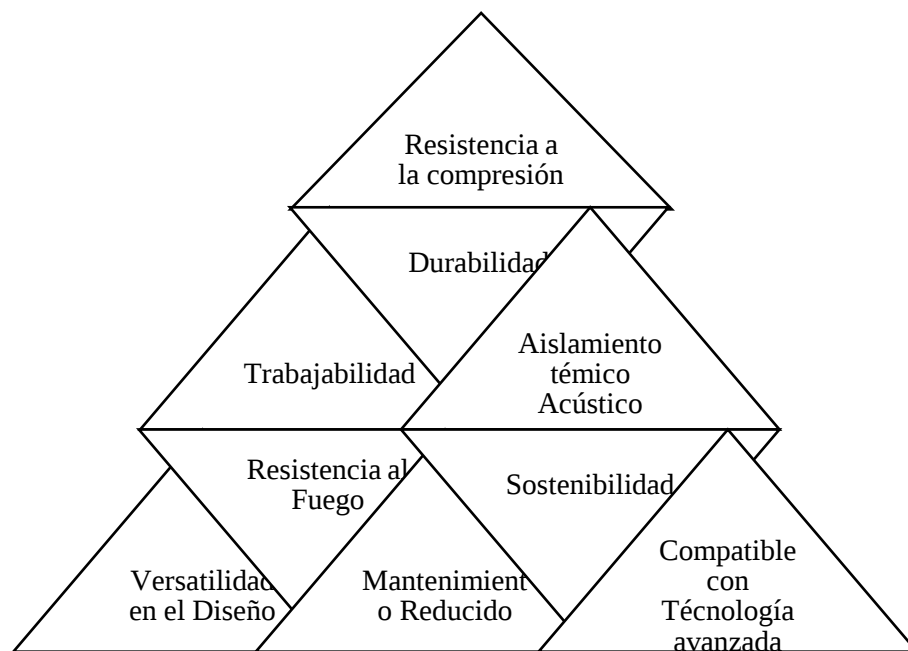
El concreto es un material de construcción comúnmente utilizado en la construcción debido a sus propiedades mecánicas, durabilidad y versatilidad. Los atributos clave incluyen resistencia a la compresión, trabajabilidad, fraguado, durabilidad y densidad.

Estas características definen su rendimiento estructural, así como su idoneidad para diferentes condiciones ambientales y cargas.

Ahora, presentando la Figura 2 que resume las propiedades más importantes del concreto de manera gráfica.

Figura 2

Característica del Hormigón



Fuente: Información extraída de (Kamel, 2016).

El hormigón es un material fundamental en la construcción debido a sus diversas propiedades que lo hacen ideal para aplicaciones en estructuras de todo tipo, cuenta con algunas características relevantes como puede observarse en la figura anterior, pero entre ellas la que más sobresale es su alta resistencia a la compresión, lo que permite que soporte grandes cargas sin deformarse, siendo esencial para elementos como cimientos y columnas.

Por otro lado, otra característica importante del hormigón es la durabilidad, ya que es capaz de resistir la abrasión, la exposición a condiciones climáticas adversas y la

acción de agentes químicos, lo que lo convierte en un material de larga vida útil y bajo mantenimiento (Kamel, 2016). La trabajabilidad también es una de sus cualidades sobresalientes, ya que facilita la mezcla, el transporte y la colocación en formas complejas sin comprometer la integridad de la mezcla, toda la versatilidad, sumada a su bajo costo relativo, lo hace muy atractivo para proyectos de gran envergadura.

El hormigón también ofrece propiedades de aislamiento térmico y acústico, lo que mejora el confort en los edificios al reducir la transferencia de calor y sonido, a ello se le suma su resistencia al fuego, lo que le otorga una importante función de protección pasiva en edificaciones de alto riesgo, su capacidad para ser moldeado en diversas formas y tamaños permite diseñar estructuras complejas, adaptándose a diversas necesidades arquitectónicas, además, al ser un material sostenible cuando se utilizan técnicas adecuadas y agregados reciclados, el hormigón contribuye a la construcción más ecológica, por último, su compatibilidad con tecnologías avanzadas, como aditivos y fibras, permite optimizar aún más sus características, haciendo de él un material imprescindible para la construcción moderna (Salinas Villegas et al., 2023).

2.4.2. Agregados pétreos

Los agregados pétreos son también conocidos como materiales áridos estos son granulares obtenidos principalmente a partir de la fragmentación de rocas y pueden clasificarse en dos categorías: “naturales” cuando se extraen directamente de yacimientos geológicos y “artificiales” cuando son fabricados mediante procesos industriales como la trituración (Silva et al., 2014).

En la industria de la construcción, su uso se extiende principalmente a la fabricación de concreto y morteros, pero también se emplean en la construcción de pavimentos y como base para diversas estructuras en ingeniería civil. Su función

principal es aportar volumen, estabilidad y resistencia a las mezclas, asegurando que las construcciones sean duraderas y capaces de soportar las cargas durante su vida útil.

Las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos, como su densidad, absorción de agua, resistencia a la compresión y durabilidad, son factores clave para su selección adecuada en distintos proyectos. Materiales con mayor densidad y menor absorción de agua, por ejemplo, tienden a mejorar la resistencia del concreto y su comportamiento frente a la humedad. Por esta razón, la elección y el procesamiento adecuado de estos materiales es fundamental para garantizar la integridad y longevidad de las estructuras construidas. Así, los agregados pétreos son componentes esenciales que contribuyen de manera significativa a la calidad y resistencia de la infraestructura moderna (Joseph et al., 2023).

2.4.2.1. Clasificación de los agregados pétreos

Los agregados de piedra triturada son importantes en la fabricación de concreto porque incluyen la mayor parte de su volumen y afectan profundamente la mayoría de sus propiedades mecánicas y su durabilidad. Conocer su clasificación mejora la elección de materiales que protegen el rendimiento del concreto en diversas aplicaciones de construcción.

A continuación, se presenta la Figura 3 que muestra gráficamente los agregados de piedra triturada más comunes:

Figura 3

Agregados Pétreos



Fuente: Imagen extraída de Google Imágenes.

Los agregados pétreos son uno de los componentes más importantes en la formulación del hormigón, debido a su influencia directa en las propiedades del material. Se componen principalmente de partículas minerales, y su clasificación se basa en diversos factores como su tamaño, origen y características físicas. A continuación, se describen las principales clasificaciones de los agregados pétreos:

2.4.2.1.1. Clasificación según su tamaño

Los agregados de acuerdo con su tamaño se dividen en agregados finos y agregados gruesos; dependiendo de su tamaño y de la normativa que regule las mezclas de concreto (Patricia León & Ramírez, n.d.). A continuación, se explican a detalle:

Tabla 1

Clasificación por Tamaño de Partícula

Tipo de Agregado	Tamaño de Partícula	Ejemplos	Usos Comunes
Fino	< 5 mm	Arena de río, arena triturada	Concreto, mortero, acabados finos
Grueso	> 5 mm	Grava, piedra triturada	Concreto estructural, drenajes

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.1.2. Clasificación según el Origen

Los agregados de acuerdo con su origen pueden clasificarse en agregados naturales los cuales provienen de depósitos naturales y en agregados artificiales los cuales se obtienen mediante procesos industriales a continuación se explica más a detalle sobre estos:

Tabla 2

Clasificación por Origen

Tipo de Agregado	Ejemplos	Proceso de Obtención	Usos Comunes
Natural	Arena de río, grava de río	Extracción y clasificación	Concreto, bases y subbases de pavimentos
Artificial	Escoria de alto horno	Proceso industrial	Concreto ligero, agregados reciclados

Fuente: Elaboración propia

2.4.2.1.2. Clasificación según su Densidad

Otra clasificación son los agregados según su densidad los cuales pueden ser normales, livianos y pesados a continuación se detalla más sobre ellos:

Tabla 3

Clasificación por Densidad

Tipo de Agregado	Densidad	Ejemplos	Usos Comunes
Normal	2.5 – 2.7 g/cm ³	Grava, piedra triturada	Concreto estructural, pavimentos
Liviano	< 2.5 g/cm ³	Arcilla expandida, pómez	Concreto ligero, elementos prefabricados
Pesado	> 2.7 g/cm ³	Barita, magnetita	Blindajes, contrapesos, estructuras especiales

Fuente: (Vélez y Ruiz, 2022)

2.4.2.1.2. Clasificación según la forma y textura superficial

Los agregados también pueden clasificarse según su forma y la textura de su superficie, lo cual influye considerablemente en las propiedades del concreto, tales como su trabajabilidad, resistencia y adhesión con aditivos, como las fibras naturales, a continuación, se explica más a fondo cada una de las clasificaciones:

Agregados Angulares: Estos se obtienen mayormente por la trituración de piedras duras y presentan bordes afilados, su forma angular favorece la resistencia a la compresión del concreto, ya que las partículas se intercalan entre sí, lo que genera una mayor interlock o encaje; sin embargo, este tipo de agregado puede dificultar la trabajabilidad de la mezcla, ya que produce una mayor fricción entre las partículas durante el proceso de mezcla y vertido (Mehta & Monteiro, 2001)

Agregados Redondeados: Son aquellos que resultan de la erosión natural de las rocas y tienen bordes suaves y redondeados, este tipo de agregado facilita la fluidez de la mezcla, lo que mejora la trabajabilidad del concreto, pero, debido a su forma menos interlock, puede reducir la resistencia estructural del material. Esto ocurre porque la superficie lisa de las partículas ofrece menor adherencia entre ellas, lo que disminuye la capacidad del concreto para resistir cargas intensas (Nevile, A., 2008).

Agregados con Textura Rugosa: La rugosidad de la superficie de los agregados juega un papel importante en la adherencia de los aditivos, como las fibras de maíz, una textura rugosa aumenta la adherencia de las fibras con la pasta de cemento, mejorando la interacción entre las fibras y la matriz cementante, esto puede resultar en una mayor tenacidad y ductilidad del concreto, lo que es especialmente útil en aplicaciones que requieren resistencia a impactos o deformaciones (Ramachandra, 2012.).

2.4.2.1.3. Clasificación según la durabilidad

Los agregados también se clasifican de acuerdo a su durabilidad este es un aspecto crucial cuando se seleccionan para mezclas de concreto, especialmente en proyectos expuestos a condiciones severas. La durabilidad se refiere a la capacidad del material para mantener sus propiedades durante un período prolongado, incluso cuando está sometido a agentes agresivos o fluctuaciones extremas de temperatura. A continuación, se explica su clasificación:

Agregados Resistentes: Algunos tipos de agregados, como el granito y el basalto, son altamente resistentes a la abrasión y a los efectos del ambiente. Estos materiales son ideales para producir concretos con una excelente durabilidad, ya que no se ven afectados fácilmente por factores como la humedad o los ciclos térmicos. Esto hace que sean adecuados para proyectos en los que el concreto está expuesto a condiciones adversas, como en estructuras de pavimentos, túneles o infraestructuras marítimas (Costa et al., 2012).

Agregados Sensibles a Reacciones Químicas: En este tipo de clasificación se hace referencia a aquellos agregados que pueden ser vulnerables a reacciones químicas indeseables que afectan la durabilidad del concreto. Un ejemplo importante es la reacción álcali-sílice (RAS), que ocurre cuando la sílice en los agregados reacciona con los álcalis presentes en el cemento, provocando una expansión que puede comprometer la integridad estructural del concreto a largo plazo. Este tipo de reacción puede ser especialmente problemático en áreas con cambios térmicos o humedad constante, ya que acelera el proceso de deterioro (De Belie et al., 2000).

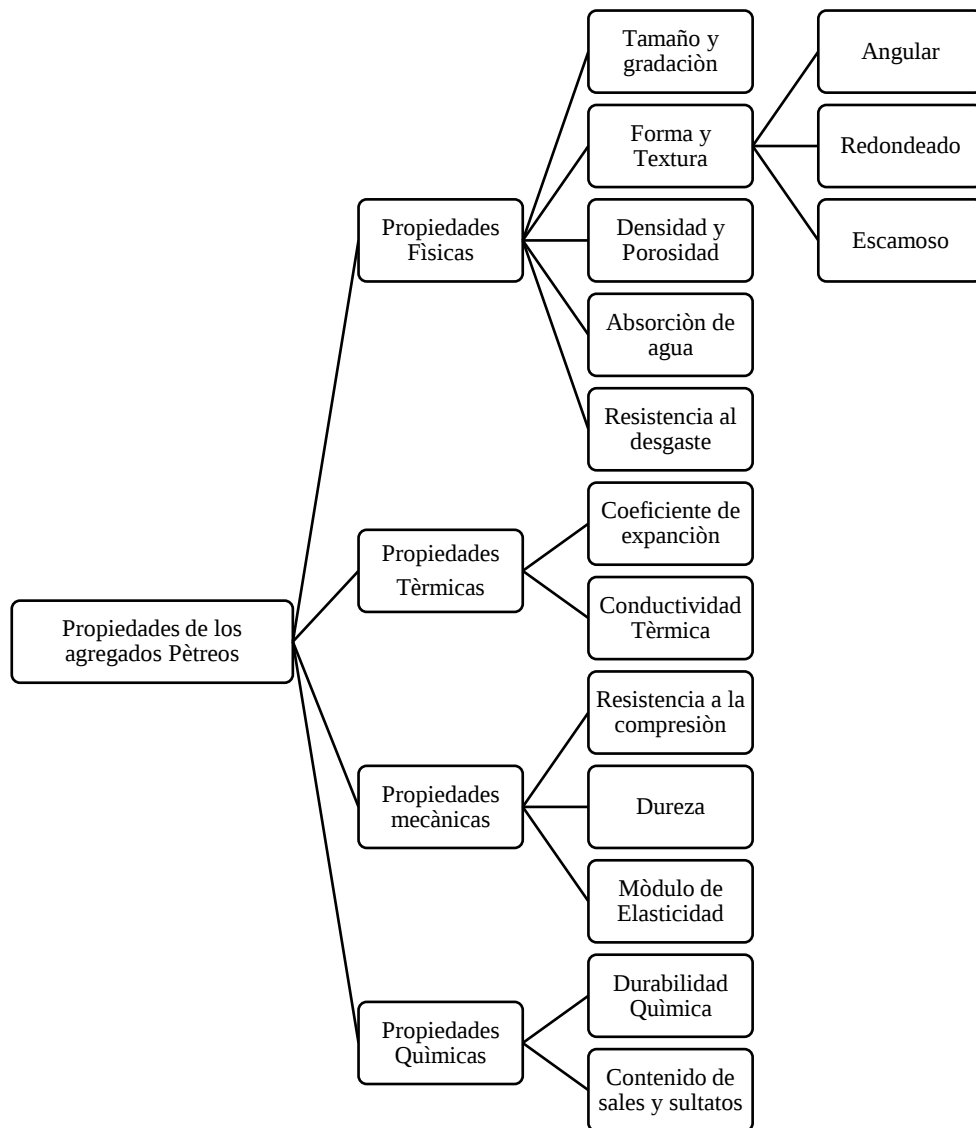
2.4.3. Propiedades y Requisitos de los Agregados Pétreos

Los agregados pétreos son componentes fundamentales en la construcción debido a su impacto en las características del concreto y otros materiales compuestos. Su importancia radica en propiedades como la gradación y el tamaño, que permiten una adecuada distribución en la mezcla, además de la densidad y porosidad, que influyen directamente en la resistencia y capacidad de absorción de agua. También destacan por su resistencia mecánica y dureza, esenciales para soportar cargas y evitar el desgaste, junto con su estabilidad química, que previene reacciones adversas con los álcalis presentes en el cemento. Estas cualidades garantizan la durabilidad y el buen desempeño de las estructuras construidas.

Los agregados pétreos tienen que cumplir con ciertos requisitos para garantizar la calidad del concreto y otras mezclas en las que se utilizan (Ducat et al., 2022). A continuación, detallan algunas propiedades importantes:

Figura 4

Propiedades de los agregados Pètreos



Fuente: Información extraída de (Martinelli et al., 2023a)

Como podemos observar en la gráfica antes expuesta los pètreos tienen algunas propiedades importantes empezaremos hablando de las propiedades físicas las cuales son: el tamaño y gradación de los agregados deben ajustarse a una curva granulométrica específica para lograr una mezcla adecuada y una buena compactación, así también la forma y textura del agregado afecta la trabajabilidad del concreto, siendo los agregados

angulares los más indicados para asegurar una mayor adherencia, mientras que los agregados redondeados o escamosos pueden dificultar la mezcla.

Por otro lado, las propiedades de densidad y porosidad están relacionadas con la capacidad de los agregados para absorber agua, lo que influye directamente en la relación agua/cemento, además la resistencia al desgaste es crucial para la durabilidad del concreto frente a procesos mecánicos.

Respecto a las propiedades mecánicas, la resistencia a la compresión es uno de los aspectos más importantes, ya que indica la capacidad de los agregados para soportar cargas sin desintegrarse; la dureza es otra propiedad que asegura que los agregados resistan el desgaste durante la manipulación y compactación, así también el módulo de elasticidad también es relevante, ya que mide la capacidad del concreto para deformarse bajo cargas sin sufrir daños permanentes.

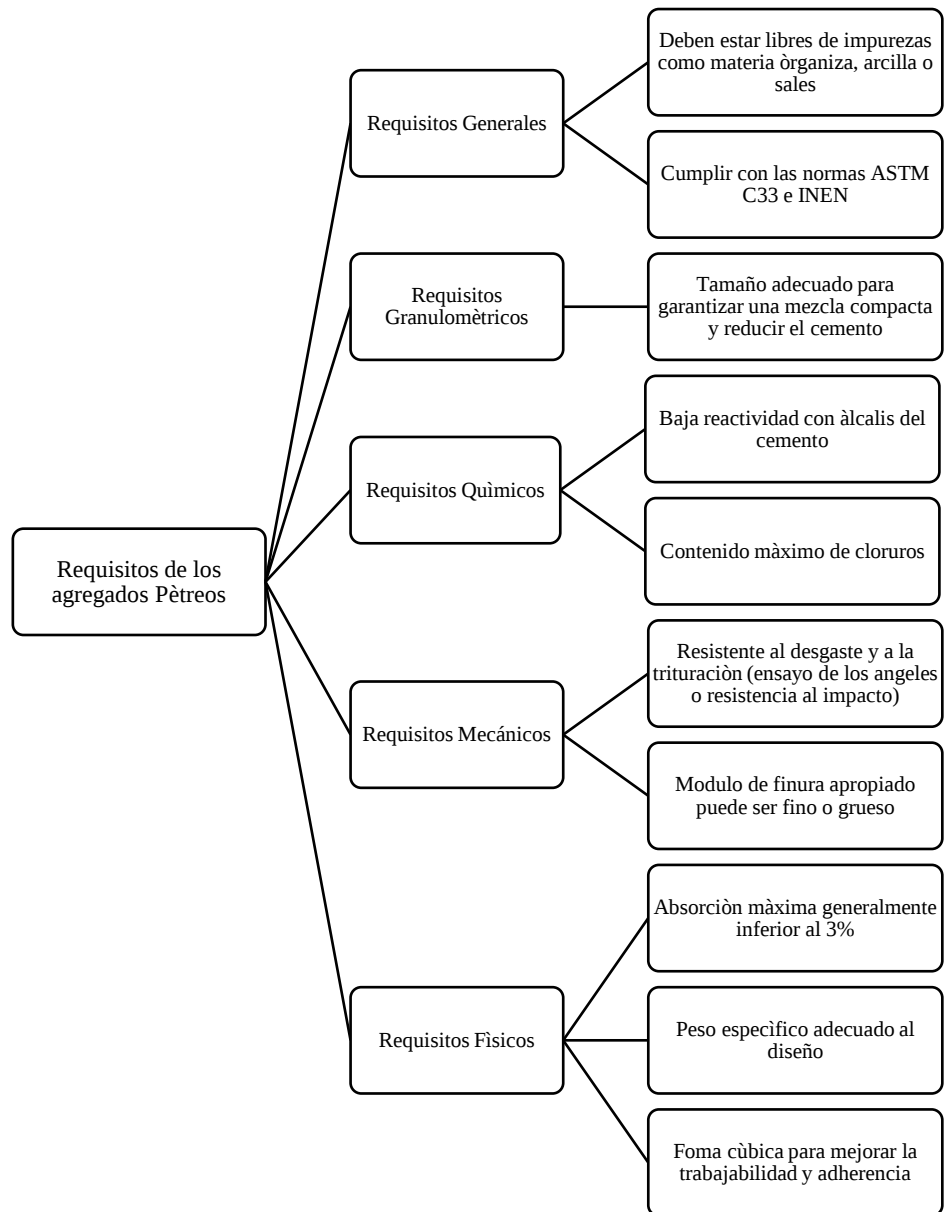
En términos de propiedades químicas, la durabilidad química es fundamental, ya que garantiza que los agregados no reaccionen negativamente con los álcalis del cemento, lo que podría comprometer la integridad del concreto, además el contenido de sales y sulfatos debe ser controlado para evitar efectos adversos en la durabilidad del material.

Finalmente, las propiedades térmicas, como el coeficiente de expansión térmica y la conductividad térmica, son esenciales para evaluar el comportamiento del concreto ante variaciones de temperatura extremas, lo que puede ser particularmente importante en regiones con fluctuaciones térmicas importantes (Martinelli et al., 2023a)

Ahora a continuación, se presentan los requisitos que deben cumplir los agregados, los cuales aseguran que estos materiales sean aptos para su uso en la construcción y contribuyan a la resistencia y durabilidad de las estructuras.

Figura 5

Requisitos de los agregados Pétreos



Fuente: Información extraída de (Albarwary et al., 2017).

Los agregados pétreos son componentes clave en la fabricación de concreto, y deben cumplir con diversos requisitos para asegurar su eficacia y la durabilidad de las estructuras, en términos generales, deben estar libres de impurezas como: materia orgánica, arcilla y sales solubles; ya que estas pueden afectar tanto la adherencia como la resistencia del concreto.

Asimismo, los agregados deben cumplir con las especificaciones establecidas en las normas locales e internacionales, como la ASTM C33 o las normas INEN, que regulan las características y el desempeño de los materiales utilizados en la construcción; en cuanto a la distribución de tamaños, es esencial que los agregados posean una gradación adecuada que permita obtener una mezcla homogénea, reduciendo el consumo de cemento y garantizando una mejor compactación.

Además, se deben cumplir requisitos mecánicos específicos, como la resistencia al desgaste que se determina mediante ensayos como el de Los Ángeles y la resistencia a la trituración, para asegurar que los agregados no se desintegren fácilmente durante la manipulación y el proceso de mezcla.

En términos físicos, los agregados deben tener una baja absorción de agua, generalmente inferior al 3%, y un peso específico que se ajuste a las necesidades del diseño de la mezcla, también se prefiere que los agregados tengan forma cúbica, ya que esto mejora la trabajabilidad y la adherencia en la mezcla.

Por último, desde un punto de vista químico los agregados deben ser de baja reactividad con los álcalis del cemento para evitar expansiones no deseadas, y el contenido de cloruros y sulfatos debe estar dentro de los límites establecidos para prevenir la corrosión del acero de refuerzo, cumplir con estos requisitos asegura que el concreto obtenido sea duradero, resistente y adecuado para su aplicación.

2.4.4. Agregados en mezcla de hormigón de 240 kg/m³

Los agregados en una mezcla de concreto con una dosificación de 240 kg/m³ juegan un rol fundamental en la obtención de un concreto resistente y duradero, adecuado para aplicaciones estructurales, este tipo de mezcla es comúnmente utilizada en

pavimentos, losas y muros no estructurales, exige que los agregados, tanto finos como gruesos, cumplan con ciertas características para garantizar la calidad del concreto final.

Según normas como la ASTM C33 y EN 12620, los agregados deben estar libres de impurezas, como arcilla, materia orgánica o sales solubles, que podrían interferir con la reacción química entre el cemento y el agua.

La proporción adecuada de agregados en la mezcla tiene un impacto directo en la homogeneidad del concreto y su capacidad para soportar las cargas previstas. Los agregados gruesos deben tener una gradación adecuada para evitar vacíos en la mezcla y asegurar una compactación eficiente, esto es crucial, ya que una distribución adecuada de tamaños contribuye a la resistencia a la compresión del concreto. Además, la forma de los agregados, ya sea angular o redondeada, afecta la trabajabilidad de la mezcla.

El peso y la densidad de los agregados son también factores determinantes, ya que influyen la cantidad de pasta de cemento necesaria para cubrir los agregados y, por ende, la relación agua/cemento, los agregados con mayor porosidad tienden a absorber más agua, lo cual puede alterar esta relación y afectar las propiedades finales del concreto (Albarwary et al., 2017).

2.4.5. Granulometría de los agregados

La distribución del tamaño de las partículas en los agregados es un factor determinante para la calidad y el desempeño del concreto, los agregados gruesos, que son aquellos con partículas mayores a 4.75 mm, juegan un papel importante en la resistencia estructural del material, mientras que los agregados finos, como la arena, favorecen la facilidad de manejo y aseguran una mezcla más homogénea al llenar los espacios entre las partículas gruesas.

La curva granulométrica, que ilustra cómo se distribuyen los tamaños de las partículas, puede variar, y su correcta selección influye directamente en la trabajabilidad,

resistencia y durabilidad del concreto, un diseño adecuado de esta mezcla permite mejorar la compresión y flexibilidad del concreto, reduciendo posibles fisuras o agrietamientos y aumentando su longevidad. La elección de la granulometría de los agregados está vinculada a diversos factores, como el entorno donde se utilizará el concreto y las normativas locales, lo que hace necesario realizar ensayos de laboratorio para garantizar que la mezcla cumpla con los requisitos técnicos específicos y asegure el rendimiento esperado (Mindess et al., 2003; Neville, 2012).

Módulo de finura

El módulo de finura es un índice utilizado para cuantificar la granulometría de los agregados finos utilizados en la mezcla de concreto. Se calcula mediante la suma de los porcentajes retenidos acumulativos en una serie de tamices estándar, dividida por 100. Este valor proporciona una medida de la distribución del tamaño de las partículas en el agregado fino y es importante para determinar la trabajabilidad y las propiedades del concreto. (Zábala, 2022, p.1)

Cálculo del Módulo de Finura:

- Se pesan los agregados finos y se pasan a través de una serie de tamices estándar.
- Se registra el porcentaje retenido acumulativo en cada tamiz.
- Se calcula la suma de los porcentajes retenidos acumulativos y se divide entre 100 para obtener el módulo de finura.

Un módulo de finura adecuado influye en la trabajabilidad del concreto fresco. Agregados finos con un módulo de finura correcto facilitan la colocación y compactación del concreto. “La distribución del tamaño de las partículas afecta las propiedades mecánicas del concreto endurecido, como la resistencia a la compresión y la durabilidad. Un módulo de finura controlado permite optimizar estas propiedades según los requisitos del diseño” (Quintero, 2022, p. 10).

Muchas normativas de construcción especifican un rango de módulo de finura aceptable para los agregados finos utilizados en concreto, asegurando así la consistencia y calidad del material. Un módulo de finura bajo indica una distribución de partículas más gruesa, mientras que un valor alto indica una distribución más fina. El valor objetivo del módulo de finura puede variar según el tipo de concreto requerido y las condiciones específicas de construcción (Cedillo et al., 2022).

2.4.6. Dosificación y Preparación del Concreto

Este extracto está relacionado con la dosificación y preparación del concreto; la Figura 6 muestra conceptos que son útiles para la comprensión de este proceso: Preparación de la Mezcla de Concreto y Combate a Documentos Diseñados.

Uno de los factores fundamentales referentes a la calidad y eficiencia del concreto es la adecuada preparación y dosificación de sus ingredientes. Todos estos pasos garantizan que todos los procesos que tienen que ver con la mezcla final cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto en términos de valor, resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Comprender estos procedimientos es muy importante al diseñar y ejecutar construcciones.

Figura 6

Dosificación y Preparación de Concreto



Fuente: Imágenes extraídas de Google Imágenes

Dosificación

La dosificación en el contexto del hormigón se refiere “al proceso de determinar las proporciones adecuadas de los materiales constituyentes (cemento, agregados, agua y aditivos) para obtener una mezcla de concreto con las propiedades específicas requeridas para un proyecto de construcción particular” (Robayo, 2022, p. 6). Este proceso es fundamental para certificar que el hormigón resultante cumple con los requerimientos de resistencia, durabilidad, trabajabilidad y otras características necesarias (Robayo, 2022).

Una dosificación adecuada garantiza que el concreto cuente con los requerimientos de diseño y rendimiento señalados, asegurando la resistencia estructural, la durabilidad a largo plazo y la economía en el uso de materiales. Además, contribuye a la reducción de problemas de construcción como fisuras, deficiencias en la resistencia y problemas de acabado superficial. En resumen, la dosificación es un mecanismo decisivo en la producción de hormigón que requiere consideración cuidadosa de varios factores para certificar la calidad y el rendimiento óptimos del hormigón en las obras de construcción.

Pasos en el Proceso de Dosificación:

- **Requisitos del Proyecto:** Se establecen las especificaciones y requisitos de diseño del concreto, incluyendo capacidad de aguante a la compresión, exposición ambiental, condiciones de carga y durabilidad esperada (Ortiz et al., 2020).
- **Selección de Materiales:** Se escogen los tipos y calidades de cemento, agregados (gruesos y finos), agua y aditivos basados en las especificaciones del proyecto y las condiciones del sitio (Ortiz et al., 2020).
- **Proporciones de Mezcla:** “Se determinan las proporciones relativas de cada material para la mezcla de hormigón. Esto se efectúa generalmente a través de

pruebas de laboratorio y cálculos basados en las características de los materiales y los requisitos de rendimiento del concreto” (Ortiz et al., 2020, p. 4).

- Pruebas y Ajustes: “Se realizan pruebas de mezcla para evaluar la trabajabilidad, la resistencia y otras propiedades del concreto fresco y endurecido. Se ajustan las proporciones si es necesario para cumplir con los estándares de calidad y rendimiento” (Ortiz et al., 2020, p. 12).

Factores Considerados en la Dosificación:

- Relación entre Agua y Cemento (a/c): “Es crucial para la resistencia y durabilidad del concreto. Una relación a/c baja puede mejorar la resistencia y durabilidad, mientras que una alta puede comprometerlas y afectar la trabajabilidad” (Ortiz et al., 2020, p.12).
- Características de los Agregados: La granulometría, forma, limpieza y absorción de agua de los agregados influyen en las propiedades del concreto. Se busca una combinación que optimice la trabajabilidad y la resistencia (Ortiz et al., 2020).
- Tipo de Cemento y Aditivos: Cementos con diferentes resistencias y características de fraguado afectan el comportamiento del concreto. Los aditivos pueden ajustar la trabajabilidad, el tiempo de fraguado y otras propiedades específicas (Ortiz et al., 2020).

Métodos de Dosificación:

- Método de Volumen: Basado en volúmenes proporcionales de cada material.
- Método de Peso: Basado en el peso específico de cada material.

- Método ACI (American Concrete Institute): Utiliza tablas y gráficos para determinar las proporciones de materiales según las condiciones específicas del proyecto.

2.4.4. Fibras en el Concreto: Tipos y Función

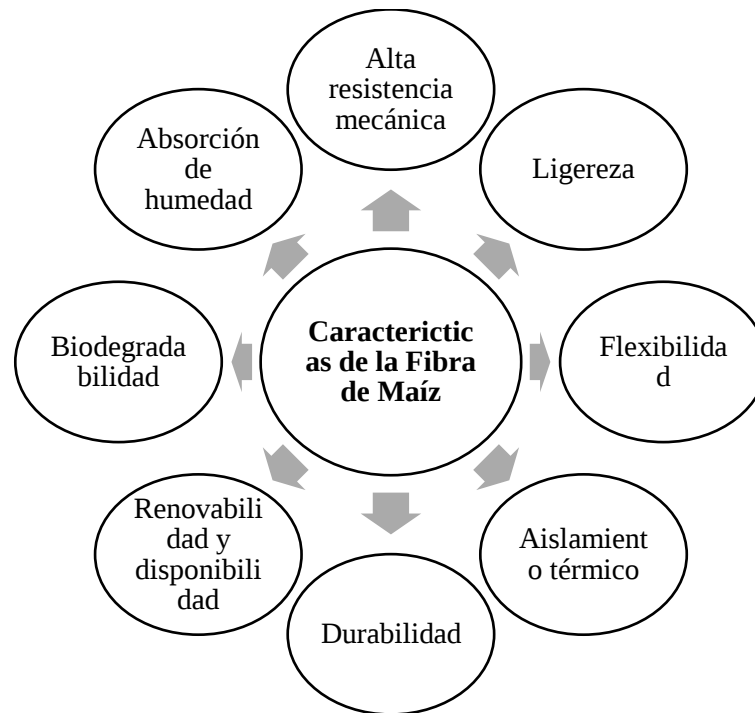
2.4.4.1. La Fibra de Maíz como Material Innovador en la Construcción Sostenible

Las fibras en el concreto se han incorporado como una técnica que ayuda a optimizar su desempeño en el marco de resistencia, durabilidad y control de fisuras. A partir de las distintas posibilidades, el uso de fibras naturales empieza a ser estudiado como un material alternativo eco amigable a los convencionalmente empleados. Una de las propuestas más innovadoras es el uso de maíz como fuente de fibra, ya que brinda estructuras y al mismo tiempo contribuye a desarrollar el daño al medio ambiente.

A continuación, en la Figura 7, se presentan las principales características de la fibra de maíz y su potencial en aplicaciones constructivas:

Figura 7

Características de la Fibra de maíz



Fuente: Información extraída de (González-Cortés et al., 2016.) .

Como puede observarse en la figura antes expuesta las fibras de maíz poseen varias características que las hacen valiosas para aplicaciones en la industria de la construcción, particularmente en la mezcla de concreto (González-Cortés et al., 2016.) . A continuación, se detallan algunas de las propiedades más destacadas:

Resistencia mecánica: Las fibras de maíz, cuando se preparan de forma adecuada ofrece una notable resistencia a la tracción, además esta propiedad mejora la cohesión del concreto, otorgándole mayor solidez y capacidad para resistir esfuerzos sin fisurarse.

Ligereza: La fibra de maíz comparada con otros materiales utilizados para reforzar el concreto es mucho más liviana lo que contribuye a reducir el peso total del material, manteniendo al mismo tiempo una resistencia estructural adecuada.

Biodegradabilidad: Como material orgánico, la fibra de maíz es completamente biodegradable, esta característica la convierte en una opción más sostenible en

comparación con otros materiales sintéticos, lo cual es beneficioso para el medio ambiente al final de la vida útil del concreto.

Absorción de humedad: La fibra de maíz tiene una alta capacidad para absorber agua, lo que puede influir en el proceso de hidratación del cemento. Cuando se maneja de manera correcta, esta propiedad puede contribuir a mejorar la resistencia del concreto a largo plazo.

Flexibilidad: Gracias a su estructura flexible, las fibras de maíz aportan al concreto una mayor resistencia a la flexión, lo que mejora su capacidad para soportar cargas sin que se agriete, aumentando así la durabilidad y estabilidad de las estructuras.

Aislante térmico: Aunque no es tan eficiente como otros materiales de aislamiento, las fibras de maíz proporcionan ciertas propiedades de aislamiento térmico que pueden mejorar la eficiencia energética de las construcciones al reducir la transferencia de calor.

Durabilidad: Si se les aplica un tratamiento adecuado, las fibras de maíz pueden incrementar la durabilidad del concreto, esto les permite resistir mejores factores ambientales adversos, como la humedad y los cambios extremos de temperatura.

Renovabilidad y accesibilidad: Al ser un subproducto agrícola, las fibras de maíz son fácilmente renovables y están disponibles a un costo accesible, esto hace que sea una opción económica para su uso en la industria de la construcción, permitiendo su implementación a gran escala.

2.4.4.2. Mortero reforzado con fibras vegetales

El uso de fibras vegetales como refuerzo en morteros al paso del tiempo a ganando importancia en el ámbito de la construcción, esto debido a su capacidad para mejorar propiedades mecánicas clave y su aporte a la sostenibilidad, este tipo de fibras obtenidas de fuentes naturales como el coco, la caña de azúcar y el maíz, se integran en la mezcla

cementicia, incrementando la resistencia a la tracción y reduciendo la aparición de fisuras por retracción (Martinelli et al., 2023b).

Entre las ventajas de las fibras vegetales se encuentran su bajo costo, amplia disponibilidad y el potencial para reducir la huella ambiental del sector de la construcción, en este contexto Bayapureddy et al. (2020) indica que su incorporación contribuye a mejorar la durabilidad y la ductilidad de los morteros, haciéndolos más resistentes frente a tensiones mecánicas y variaciones ambientales, por otro lado también se destaca que el uso de estas fibras no solo mejora el comportamiento estructural del mortero, sino que también ayuda a absorber energía, favoreciendo su desempeño en aplicaciones específicas.

Sin embargo, las fibras vegetales no están exentas de desafíos, su vulnerabilidad a la degradación en ambientes húmedos y la interacción química con la matriz cementicia pueden comprometer su durabilidad a largo plazo, para superar estas limitaciones se han explorado tratamientos como la alcalinización y la aplicación de recubrimientos protectores, que mejoran la compatibilidad entre las fibras y el cemento, aumentando así su eficiencia y vida útil.

En síntesis, el mortero reforzado con fibras vegetales surge como una alternativa prometedora para el desarrollo de materiales más sostenibles en la construcción, no obstante, su implementación a gran escala demanda investigaciones adicionales que permitan perfeccionar su rendimiento y garantizar su viabilidad técnica y económica en diferentes contextos.

2.4.4.3. Fibras de material orgánico

El empleo de fibras provenientes de materiales orgánicos en la construcción está emergiendo como una solución sostenible y funcional para reforzar morteros y concretos, estas son obtenidas de recursos como tallos, hojas, cáscaras y otros subproductos

agrícolas por su capacidad para mejorar propiedades como la resistencia mecánica y la flexibilidad de los materiales de construcción.

Entre las principales ventajas de las fibras orgánicas destacan su disponibilidad, bajo costo y bajo impacto ambiental. Su integración en mezclas cementicias aporta una mayor resistencia a la tracción y una mayor capacidad para absorber energía antes de que el material falle. En este sentido, estudios como el de Oliveira, Teixeira y Silva (2019) subrayan que las fibras de coco y bagazo de caña de azúcar han demostrado ser efectivas para incrementar la durabilidad y la ductilidad en aplicaciones estructurales.

Además de sus beneficios estructurales, el uso de estas fibras contribuye a reducir la huella ambiental de los procesos constructivos. Incorporarlas en la fabricación de morteros no solo disminuye la dependencia de aditivos sintéticos, sino que también fomenta una economía más circular, reutilizando residuos agrícolas que de otro modo serían desechados. Según Sharma y Singh (2020), esta práctica no solo promueve la sostenibilidad, sino que también optimiza el uso de recursos naturales al incluir materiales que tienen un impacto ambiental significativamente menor en comparación con otros insumos tradicionales.

No obstante, las fibras orgánicas presentan ciertos desafíos técnicos. Entre ellos se encuentran su sensibilidad a la humedad y su composición química variable, factores que pueden comprometer la durabilidad y consistencia del material a largo plazo (Green, Andersson & Mellqvist, 2020). Para enfrentar estas limitaciones, se han desarrollado tratamientos específicos, como procesos químicos o térmicos, que buscan estabilizar las fibras y mejorar su compatibilidad con las mezclas cementicias, lo que las hace más eficaces y confiables en diversas aplicaciones (Sharma, Sharma & Singh, 2021).

En conclusión, las fibras de material orgánico representan una alternativa viable y sostenible para el refuerzo de materiales de construcción. Aunque todavía existen

desafíos por superar, el avance en la investigación y desarrollo de estas soluciones promete un impacto significativo en la transición hacia prácticas constructivas más responsables con el medio ambiente.

2.4.4.4. Función y fines característicos de la incorporación de fibras, tenacidad, ductilidad y aspecto

Las fibras en el hormigón tienen como principal misión el controlar la aparición de fisuras durante su uso, disminuyendo el tamaño de estas y convirtiendo el comportamiento débil del material en uno más dúctil, lo que aumenta la seguridad del material, incluso después de alcanzar sus límites de carga (García, 1998). “El hormigón presenta siempre micro fisuras debido a diferentes factores: contracción, cambios térmicos o diversas cargas aplicadas durante las primeras etapas, antes de que el concreto alcance las resistencias esperadas” (García, 1998, p. 2).

En caso de que el concreto en masa se quiebre y este sujeto a tracción, las líneas de campo de fuerza se arquean, lo que impide la transmisión de esfuerzos por la fisura. Cuando las tensiones de los bordes de la fisura incrementan, se excede la capacidad del hormigón para resistir esfuerzos y genera que la grieta se extienda, lo que conduce a una fractura frágil del mismo. De ser el caso que el hormigón cuente con fibras, un fragmento de la fuerza de tracción será transmitida mediante esta fisura por las fibras que la remiendan (García, 1998). “La eficacia de las fibras depende de los siguientes factores: adherencia para obtener un buen anclaje es importante mejorar la adherencia, módulo de elasticidad, número de fibras: cantidad en peso por m³ de hormigón y relación longitud - diámetro, que se denomina aspecto” (García, 1998, p.60).

“Las fibras mejoran el hormigón aumentando su ductilidad y tenacidad, convierten el hormigón de material frágil en material dúctil. La tenacidad mejora la

resistencia al choque y la resistencia a la fatiga. Ambos términos, se utilizan para indicar que el material presenta un gran periodo plástico antes de la rotura” (García, 1998, p. 60).

La ductilidad se caracteriza por un considerable alargamiento antes de la rotura, en comparación con la deformación elástica del material bajo carga. Y la tenacidad se refiere a la cantidad de energía absorbida durante la deformación de un material bajo carga. Para que una grieta avance, se requiere una mayor cantidad de energía. Esto implica que existe una resistencia a la tracción incluso después de que el hormigón se haya agrietado. En otras palabras, el hormigón fibroso es un material que controla la propagación de fisuras (García, 1998).

2.4.4.5. Dosificación máxima de fibras para una composición de hormigón dada

La adición de fibras al concreto debe tener en cuenta límites técnicos definidos, ya que su exceso afectará negativamente la trabajabilidad y resistencia del concreto, mientras que, en el caso de una dosificación correcta, su mejorará. Para lograr un buen resultado, dentro de los límites hay un máximo de fibra que se puede agregar, el cual se calcula tomando en cuenta el volumen de mezcla y el tamaño máximo del árido.

Las Tablas 4 y 5 a continuación muestran la relación de dosificación máximas de fibras por metro cúbico de concreto y la relación del tamaño de árido con el factor de dosificación:

Tabla 4

Cantidad máxima de fibras.

Tamaño max. de árido mm	e/d=60		e/d=75		e/d=100	
	Normal	Bombeado	Normal	Bombeado	Normal	Bombeado
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

Fuente: Información extraída de (García,1998)

La tabla 1, indica los límites máximos de la cantidad de fibras por metro cuadrado que se puede agregar a un camión mezclador de hormigón. Estas fibras pueden agregarse en forma de paquetes de fibras, ya sean encoladas o individuales, que tengan un aspecto menor o igual a 45 (García, 1998).

Tabla 5

Tamaño máximo de árido mm

Tamaño max. del árido (mm)	Factor $f_b \cdot L/d$
4	120
8	70
16	50
31,5	30

Fuente: Información extraída de (García,1998)

La cantidad de fibras permitida se determina utilizando el factor: $f_{b \times \frac{L}{d}}$, calculado en la tabla 2, según el tamaño máx. del árido. Es decir, si el tamaño máx. del árido es de 16 mm, se puede consultar la tabla para obtener la cantidad máxima de fibras permitida. (García, 1998) .

Proceso de Mezcla y Colocación

- **Dosificación:** La proporción adecuada de cemento, agregados, agua y aditivos se determina mediante pruebas de laboratorio y consideraciones de diseño estructural (Robayo, 2022).
- **Mezclado:** “Los materiales se mezclan mecánicamente para asegurar una distribución uniforme de los componentes y una mezcla homogénea” (Robayo, 2022, p.12).
- **Colocación:** El hormigón fresco se coloca en moldes o en el lugar de la obra y se compacta para eliminar burbujas de aire y asegurar la adherencia entre las partículas y la forma de las estructuras deseadas (Robayo, 2022).

Aplicaciones del Hormigón:

- **Construcción de Edificios:** Fundaciones, columnas, losas y paredes estructurales (Saenz y Calderon, 2023).
- **Infraestructura Vial:** Carreteras, puentes y túneles (Saenz y Calderon, 2023).
- **Obras Hidráulicas:** Presas, canales y estructuras marítimas (Saenz y Calderon, 2023).
- **Elementos Decorativos:** Pisos, pavimentos decorativos y revestimientos (Saenz y Calderon, 2023).

El hormigón es un material esencial en la construcción moderna debido a sus propiedades mecánicas superiores, durabilidad y versatilidad en una amplia gama de aplicaciones estructurales y arquitectónicas. Su uso continuo y evolución en tecnología de materiales sigue siendo fundamental para el desarrollo y la sostenibilidad en la industria de la construcción. (Robayo, 2022, p. 9)

Capítulo 3: METODOLOGÍA

3.1. Enfoque de la investigación

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y el objetivo principal fue medir y analizar de manera objetiva los cambios en la resistencia del concreto simple de 240 kg/cm² al incorporar fibras de maíz en diferentes proporciones, evaluando su comportamiento a los 7, 14 y 28 días, en este contexto los autores Creswell J. David & Creswell and John W. (2018) señalan que este tipo de enfoque resulta ser el más adecuado para investigaciones que trabajan con datos numéricos y buscan establecer relaciones entre variables.

Por otro lado, la elección de un enfoque cuantitativo se justificó en la necesidad de poder determinar el impacto de las fibras de maíz, sobre la resistencia a compresión del concreto, que actuó como la variable dependiente; además se empleó un diseño experimental que permitió realizar ajustes controlados y reproducibles en las condiciones del estudio, garantizando así resultados confiables y válidos.

Finalmente se debe mencionar que el enfoque cuantitativo también fue adecuado para este tipo de investigación, ya que proporcionó las herramientas necesarias para extraer conclusiones generalizables puesto que en el campo de la ingeniería civil, este enfoque resulta esencial para desarrollar recomendaciones prácticas basadas en datos obtenidos de manera rigurosa, al respecto Hernández Sampieri et al. (2014) afirma que este enfoque asegura precisión en la recolección y análisis de datos, permitiendo una evaluación sólida y comparativa.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación fue experimental ya que se manipuló y controló deliberadamente las diferentes proporciones de fibras de maíz incorporadas al concreto; este tipo de diseño como señalan Hernández Sampieri et al. (2014) resulta ser fundamental para analizar la relación de causa-efecto entre las variables, lo cual es esencial cuando se busca comprobar el impacto directo de un factor específico (las fibras de maíz) sobre la variable dependiente (la resistencia del concreto).

El diseño implementado consistió en grupos experimentales y un grupo control donde se utilizó un grupo sin fibras de maíz para comparar los resultados con los concretos a los que se les incorporaron diferentes proporciones de fibras, esta estrategia permitió evaluar el efecto de cada una sobre la resistencia del concreto durante los tres períodos de curado (7, 14 y 28 días).

Para asegurar la validez de los resultados se controlaron todas las posibles variables externas que pudieran afectar las mediciones como son las condiciones de temperatura y humedad durante el curado del concreto así también la correcta mezcla de los materiales, por otro lado, este diseño también se enmarcó en un enfoque cuasiexperimental lo que permitió controlar los factores relevantes sin requerir una asignación aleatoria de las muestras, según lo propuesto por Robson (2002).

El diseño también implicó un análisis comparativo de los datos, con el objetivo de determinar las diferencias significativas entre los concretos con y sin fibras de maíz, utilizando técnicas estadísticas adecuadas, este análisis permitió identificar qué proporción de fibras optimizó mejor la resistencia del concreto, proporcionando así información valiosa para futuras aplicaciones de este material.

3.3. Materiales y Recursos

Para llevar a cabo esta investigación se utilizaron varios materiales y recursos para realizar los ensayos de manera adecuada y precisa, a continuación, se explican y describen los mismos:

3.3.1. Recursos Físicos

En cuanto a los recursos físicos, para los ensayos de resistencia del concreto con fibras de maíz, se emplearon materiales de construcción de alta calidad continuación, se detallan los principales materiales empleados en el estudio:

Concreto: Se utilizó concreto de alta resistencia, con una resistencia nominal de 240 kg/cm². Este concreto fue preparado con una mezcla estándar que consistió en cemento Portland, agua, arena y grava; la calidad de los materiales fue controlada para asegurar una mezcla homogénea que permitiera la correcta evaluación de la resistencia a la compresión del concreto.

Fibras de Maíz: Se adquirieron fibras de maíz en su estado natural, sin ningún tratamiento previo, estas fibras fueron cortadas en tamaños específicos para asegurar una distribución uniforme dentro de la mezcla de concreto, además se utilizaron tres diferentes proporciones de fibras con el objetivo de evaluar su efecto en la resistencia del concreto a lo largo de los diferentes tiempos de curado (7, 14 y 28 días).

Cemento Portland: Este tipo de cemento fue utilizado debido a su alta resistencia y durabilidad, cabe mencionar que es un material comúnmente usado en la construcción y es conocido por su capacidad para mezclarse adecuadamente con los otros componentes del concreto asegurando así la homogeneidad de la mezcla.

Arena y Grava: Se usaron estos agregados por su calidad y tamaño adecuado, en el caso de la arena fina y la grava de tamaño medio proporcionaron al estudio una resistencia necesaria en el concreto, sin duda alguna ambos materiales fueron

previamente cribados y seleccionados para evitar impurezas que pudieran alterar las propiedades del concreto.

Moldes para cilindros de concreto: Se utilizaron moldes para fabricar los cilindros de concreto, estos fueron esenciales para garantizar que los ensayos de compresión se realizaran de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas, después estos se sometieron a pruebas de compresión a intervalos de 7, 14 y 28 días.

Cámaras de curado: Para asegurar que el concreto se curara bajo condiciones controladas se utilizaron cámaras de curado que permitieron monitorear y mantener las condiciones ideales de temperatura y humedad, estas fueron claves para simular el ambiente real de curado del concreto permitiendo obtener resultados confiables sobre la evolución de la resistencia con el tiempo.

3.3.2. Recursos Humanos

En cuanto al recurso humano de esta investigación, la responsabilidad de todas las etapas del estudio recayó exclusivamente sobre la investigadora principal, quien se encargó de la planificación, ejecución y análisis de los resultados, bajo la constante supervisión y orientación del tutor, quien brindó apoyo en la toma de decisiones metodológicas y garantizó el cumplimiento de los estándares académicos requeridos.

3.3.3. Recursos Tecnológicos y Logísticos

En cuanto a los recursos tecnológicos y logísticos a continuación se describen aquellos que ayudaron a tener una correcta ejecución de los ensayos y garantizaron la fiabilidad de los resultados obtenidos:

Ordenadores equipados con software especializado: Para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos de los ensayos, se utilizaron ordenadores con programas especializados como SPSS y Excel, estos softwares fueron esenciales para organizar los datos, realizar pruebas estadísticas y facilitar la interpretación de los resultados.

Sensores de temperatura y humedad: Se utilizaron sensores de temperatura y humedad para garantizar que las condiciones del curado del concreto fueran las más adecuadas durante todo el proceso, estos dispositivos permitieron monitorear en tiempo real las condiciones ambientales, lo que resultó fundamental para mantener el entorno óptimo para el fraguado y endurecimiento del concreto, asegurando la precisión y fiabilidad de los resultados.

En cuanto a la logística a continuación se describe algo de lo realizado:

Adquisición y planificación de materiales: La adquisición de todos los materiales necesarios, como cemento, arena, grava y fibras de maíz, se planificó de manera anticipada permitiendo asegurar que los materiales estuvieran disponibles sin retrasos y en las condiciones necesarias para su uso en las mezclas de concreto.

Distribución eficiente de los materiales: Los materiales en especial las fibras de maíz y el concreto fueron distribuidos minuciosamente para garantizar que llegaran en buenas condiciones al sitio de trabajo; cabe mencionar que se verificó el transporte y almacenamiento adecuado de los materiales, minimizando así el riesgo de daños.

Programación de tiempos de curado y ensayos: La programación de los tiempos de curado y los ensayos de resistencia fue organizada para optimizar los tiempos del proyecto, esta planificación permitió asegurar que cada etapa se llevara a cabo de manera puntual, sin contratiempos y con el máximo aprovechamiento del tiempo disponible.

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

Para garantizar la obtención de datos precisos y confiables durante el desarrollo del estudio se definieron algunos métodos, técnicas e instrumentos más adecuados, cada uno de estos fueron seleccionados considerando la naturaleza experimental de la

investigación y su enfoque en la evaluación de la resistencia del concreto con fibras de maíz. A continuación, se explica detalladamente:

3.4.1. Métodos

El método aplicado fue el experimental, que permitió analizar los efectos de la incorporación de fibras de maíz en la resistencia del concreto, evaluando los resultados en diferentes etapas del proceso de curado (a los 7, 14 y 28 días), este método consistió en la elaboración de mezclas de concreto con proporciones específicas de fibras que fueron sometidas a condiciones controladas, adicionalmente, se empleó un método cuantitativo para interpretar los datos recolectados en los ensayos.

3.4.2. Técnicas

En cuanto a las técnicas hay que destacar que se aplicaron algunas para garantizar la correcta ejecución del experimento y el análisis de los datos, a continuación, se explican:

Preparación y curado de muestras: Las mezclas de concreto se prepararon siguiendo normativas técnicas reconocidas y fueron colocadas en moldes cilíndricos de dimensiones estándar, las muestras resultantes se curaron en cámaras controladas que aseguraron condiciones óptimas de temperatura y humedad.

Pruebas de compresión: Esto permitió medir la resistencia del concreto al aplicar cargas incrementales hasta alcanzar el punto de fractura, para ello, se utilizó una máquina especializada que garantizó mediciones precisas y repetibles en cada intervalo de análisis.

Análisis estadístico: Los datos obtenidos fueron sometidos a técnicas de análisis estadístico, incluyendo pruebas de varianza y regresión que facilitaron la comparación

de resultados entre las distintas proporciones de fibras de maíz y la identificación de tendencias en el comportamiento mecánico del concreto.

3.4.3. Instrumentos

En cuanto a los instrumentos utilizados en este estudio, se utilizaron los siguientes:

Máquina de ensayo de compresión: Es una herramienta clave para medir la resistencia del concreto, capaz de aplicar cargas controladas y registrar la resistencia máxima alcanzada antes del colapso de las muestras.

Cámaras de curado: Equipos diseñados para mantener un entorno controlado, asegurando niveles estables de temperatura y humedad durante el tiempo necesario para el curado de las muestras.

Moldes cilíndricos estándar: Dispositivos utilizados para dar forma a las muestras de concreto, fabricados según especificaciones técnicas internacionales para garantizar uniformidad y precisión en los ensayos.

Software de análisis estadístico: Herramientas como SPSS y Excel fueron esenciales para organizar los datos recolectados, realizar cálculos estadísticos avanzados y generar representaciones gráficas que facilitaron la interpretación de los resultados.

3.4.4. Fórmulas para utilizar

En el desarrollo de la investigación, se emplearon fórmulas fundamentales para el análisis de las propiedades y el comportamiento del concreto modificado con fibras de maíz. A continuación, se detalla cada una de ellas:

- **Módulo de finura:**

El módulo de finura es un parámetro importante en el diseño de mezclas de concreto, ya que permite evaluar la granulometría de los agregados finos utilizados en la mezcla, este valor es esencial para garantizar una adecuada trabajabilidad del concreto y para ajustar las proporciones de los materiales, lo que contribuye a obtener una mezcla homogénea y eficiente; la formula aplicada en este estudio fue la siguiente:

Ecuación 1

Modelo finura

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

- **Humedad de los agregados:**

Durante el desarrollo de este estudio, se evaluó la humedad de los agregados mediante procedimientos estándar para garantizar que las proporciones de agua en la mezcla fueran las correctas, por medio de la siguiente fórmula

Ecuación 2

Humedad de los agregados

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

Cabe señalar que el control de la humedad en los agregados fue esencial para evitar problemas como segregación, exudación o disminución de la resistencia mecánica. Asimismo, permitió mantener la uniformidad en las condiciones de curado, lo que resultó clave para evaluar de manera precisa el comportamiento del concreto modificado con fibras de maíz.

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

La densidad y la absorción de los agregados son propiedades críticas que se analizan para garantizar la calidad y el desempeño del concreto. Estas propiedades permiten evaluar la capacidad del material para absorber agua y determinar su peso específico, lo que influye directamente en la proporción de los materiales dentro de la mezcla.

G_s: gravedad específica seca

G_{sss}: gravedad específica en sss

G: gravedad específica aparente

P_o: Porcentaje de absorción de agua

Ecuación 3

Densidad y absorción (Peso específico retenido N°4)

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

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

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

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

- **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

Ecuación 4

Peso específico pasa N° 4

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

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

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

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

- **Peso unitario suelto**

Ecuación 5

Peso unitario suelto

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

3.4.5. Proceso para la Obtención de la Fibra de maíz

La fibra de maíz, derivada de los residuos del cultivo como hojas, tallos y mazorcas, es un material orgánico que se utiliza frecuentemente como refuerzo en mezclas de concreto debido a sus propiedades mecánicas. A continuación, se detalla el proceso llevado a cabo para su obtención y preparación:

Recolección del material: El primer paso consistió en recolectar los residuos generados tras la cosecha del maíz. Para ello, se seleccionaron cuidadosamente las partes que se encontraban en buen estado, descartando aquellos elementos que presentaban daños o degradación significativa.

Limpieza y selección: Posteriormente, los residuos recolectados fueron sometidos a un proceso de limpieza minucioso con el objetivo de eliminar cualquier tipo de suciedad, partículas de tierra y otros contaminantes. Este procedimiento fue esencial para asegurar que las fibras estuvieran en condiciones adecuadas para su empleo en el concreto.

Secado: Las fibras limpias se dejaron secar bajo condiciones controladas, ya sea al aire libre en áreas ventiladas o utilizando hornos a temperaturas moderadas. Este paso resultó crucial para reducir al mínimo el contenido de humedad en las fibras, evitando problemas como el desarrollo de hongos o la interferencia con la proporción de agua en la mezcla.

Corte y dimensionamiento: Una vez secas, las fibras se cortaron en fragmentos uniformes de entre 2 y 4 centímetros de longitud. Este tamaño específico permitió una integración homogénea dentro de la matriz de concreto, mejorando la capacidad de refuerzo del material en las diferentes pruebas realizadas.

Clasificación y almacenamiento: Finalmente, las fibras fueron clasificadas según su tamaño y calidad. Después de esta etapa, se almacenaron en lugares secos,

limpios y bien ventilados para evitar la exposición a condiciones que pudieran alterar sus propiedades físicas y mecánicas.

Capítulo 4: LEVANTAMIENTO DE DATOS EN CAMPO

4.1. Ejecución del proyecto

En la fase de ejecución del proyecto, se llevó a cabo la preparación e incorporación de las fibras de maíz en cuestión en la mezcla de concreto para la evaluación del comportamiento estructural. Se requirió un tratamiento previo de las fibras para asegurar una adecuada integración y distribución dentro del concreto, lo que garantizaría resultados confiables en las pruebas experimentales.

El tipo de fibra de maíz utilizado en esta parte del proyecto se muestra en la Figura 8 a continuación.

Figura 8

Fibra de maíz utilizada



Fuente: Elaboración propia.

Para introducir fibras de maíz de cáñamo de 6 cm de largo en probetas para pruebas de rotura de concreto, **el tratamiento consiste** en un lavado para eliminar impurezas y polvo, seguido de un secado al aire o en horno a baja temperatura para reducir la humedad. Posteriormente, **se realizó el desfibrado** manual para separar las

fibras y evitar apelmazamientos, facilitando su dispersión homogénea en la mezcla de concreto.

4.2. Fuente de las fibras de maíz.

En la ciudad de Ambato, el cáñamo de maíz, específicamente las fibras largas de 6 cm adecuadas para refuerzo de concreto **se las obtuvo de agricultores locales** que cultivan maíz y procesen sus residuos para obtener la fibra.

4.3. Preparación de las fibras antes de la mezcla

Se realizó un lavado para remover impurezas como polvo y tierra, seguido de un secado para reducir el contenido de humedad y prevenir la proliferación de hongos.

4.4. Datos del Proceso de Elaboración de las Probetas

4.4.1. Fecha de recolección de datos

Como parte de la etapa experimental, se realizaron diferentes pruebas de edad en las muestras de concreto para evaluar su resistencia y comportamiento en relación con el período de curado. Las pruebas se realizaron a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación de las muestras, basándose en los procedimientos estándar en ingeniería de materiales de construcción. Las fechas elegidas secuencialmente garantizan la compensación entre los diferentes tipos de mezclas utilizadas y los cambios de desarrollo durante el período.

A continuación, identificamos la Tabla 6, que indica las fechas de muestreo para cada tipo de concreto:

Tabla 6

Fecha de recolección de datos

Fecha de recolección de datos				
	Hormigón Simple de 240 kg/cm²	Hormigón Simple de 240 kg/cm² + Fibra de maíz de cáñamo de 6cm de largo	Hormigón Simple de 240 kg/cm²+ Fibra de maíz de cáñamo de 6cm de largo + Maíz seco triturado	Hormigón Simple de 240 kg/cm² + Maíz seco pulverizado
7 días	2/3/2025	2/3/2025	2/3/2025	19/3/2025
14 días	9/3/2025	9/3/2025	9/2/2025	26/3/2025
28 días	16/3/2025	16/3/2025	16/2/2025	2/4/2025

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla muestra las fechas en las que se recolectaron diferentes muestras de hormigón que fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días, indicando la "Fecha de elaboración de las probetas" el día de su fabricación. Para los tres primeros tipos de hormigón ("Hormigón Simple de 240 kg/cm²", "Hormigón Simple de 240 kg/cm² + Fibra de maíz de cáñamo de 6cm de largo" y "Hormigón Simple de 240 kg/cm² + Fibra de maíz de cáñamo de 6cm de largo + Maíz seco triturado"), las muestras para las tres edades de ensayo (7, 14 y 28 días) se elaboraron en las mismas fechas: 2 y 3 de marzo de 2025 para los dos primeros tipos, y 2 de febrero y 9 de marzo de 2025 para el tercer tipo, con algunas ligeras variaciones que probablemente se deban a la dosificación o la configuración experimental. Sin embargo, el cuarto tipo de hormigón ("Hormigón Simple de 240 kg/cm² + Maíz seco pulverizado") presenta una fecha de elaboración posterior, el 19 de marzo de 2025 para el ensayo de 7 días, el 26 de marzo de 2025 para el de 14 días y el 2 de abril de 2025 para el de 28 días, lo que sugiere un lote diferente o una cronología experimental distinta para esta mezcla de hormigón en particular. La

consistencia en las fechas de preparación para los tres primeros tipos indica un programa de ensayos coordinado para evaluar el impacto de las adiciones de fibra, mientras que las fechas escalonadas para el cuarto tipo implican una investigación independiente sobre el efecto del maíz seco pulverizado.

4.5. Procedimiento de mezclado

La mezcla de concreto es un paso fundamental que afecta la calidad y uniformidad del lote, o en otras palabras, la mezcla. Si el orden de los materiales añadidos se realiza correctamente, junto con el control adecuado del agua en volumen y tiempo, se puede lograr una masa homogénea con la trabajabilidad y resistencia deseadas. A continuación, se describe el procedimiento utilizado en la preparación de concreto simple de 240 kg/cm².

La Figura 9 ilustra cómo se vio el concreto una vez que el proceso de mezcla se había completado:

Figura 9

Hormigón simple de 240 kg/cm²



Fuente: Elaboración propia.

El hormigón simple de 240 kg/cm² se mezcló iniciando con la introducción de la grava en la mezcladora, seguida por una parte del agua de amasado. Luego, se añadió el cemento y la arena, y se realizó un mezclado en seco por unos instantes para homogeneizar los componentes. Progresivamente, se incorporó el resto del agua, verificando la consistencia hasta lograr la trabajabilidad requerida. El tiempo total de mezclado fue de aproximadamente 3 minutos, resultando en una masa uniforme y lista para su colocación en los moldes de las probetas.

Figura 10

Hormigón Simple de 240 kg/cm² + Fibra de maíz de cáñamo de 6cm de largo



Fuente: Elaboración propia.

Para la mezcla del hormigón simple de 240 kg/cm² reforzado con fibra de maíz de cáñamo de 6 cm de largo, se inició el proceso incorporando la grava en la mezcladora, seguida por una porción del agua de amasado. A continuación, se añadió el cemento y la arena, realizando un mezclado en seco para dispersar los materiales. Luego, las fibras de cáñamo, previamente tratadas y desfibradas, se incorporaron gradualmente a la mezcla mientras continuaba el proceso de mezclado para asegurar su distribución uniforme y evitar apelmazamientos. Finalmente, se añadió el resto del

agua hasta alcanzar la consistencia deseada. El tiempo total de mezclado fue de aproximadamente 4 minutos, logrando una masa homogénea donde las fibras quedaron dispersas en la matriz de hormigón.

Figura 11

Hormigón Simple de 240 kg/cm^2 + Fibra de maíz de cáñamo de 6cm de largo + Maíz seco triturado



Fuente: Elaboración propia.

En la preparación del hormigón simple de 240 kg/cm^2 reforzado con fibra de maíz de cáñamo de 6 cm de largo y la adición de maíz seco triturado, se comenzó introduciendo la grava en la mezcladora, seguida por una parte del agua de amasado. A continuación, se añadió el cemento y la arena, mezclando en seco para una distribución inicial. Luego, se incorporaron gradualmente las fibras de cáñamo, previamente tratadas, asegurando su dispersión. Seguidamente, se añadió el maíz seco triturado a la mezcla, permitiendo que se distribuyera de manera uniforme. Finalmente, se incorporó el resto del agua, controlando la consistencia hasta obtener la trabajabilidad deseada. El tiempo total de mezclado fue de aproximadamente 5 minutos, resultando en una mezcla homogénea que contenía tanto las fibras como el maíz seco triturado dispersos en la matriz de hormigón.

Figura 12

Hormigón Simple de 240 kg/cm² + Maíz seco pulverizado



Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración del hormigón simple de 240 kg/cm² con la adición de maíz seco pulverizado, se inició el proceso introduciendo la grava en la mezcladora, seguida por una porción del agua de amasado. A continuación, se incorporaron el cemento y la arena, realizando un mezclado en seco para lograr una distribución inicial de los componentes. Seguidamente, se añadió el maíz seco pulverizado a la mezcla, permitiendo que se dispersara de manera uniforme. Finalmente, se incorporó el resto del agua, controlando la consistencia hasta alcanzar la trabajabilidad requerida. El tiempo total de mezclado fue de aproximadamente 3.5 minutos, resultando en una mezcla homogénea con el maíz seco pulverizado integrado en la matriz de hormigón.

4.5. Método de curado utilizado

Es fundamental que el hormigón se cure, para que, el mismo pueda alcanzar sus propiedades mecánicas óptimas requeridas. Un proceso de curado controlado conserva el agua suficiente para que el cemento lleve a cabo su proceso de hidratación, completándolo con méritos de durabilidad y resistencia de los materiales. Aquí se presenta el método de curado que se aplicó en esta investigación. La Fig. 13 exhibe el procedimiento de inmersión para el curado de las muestras que se utilizó en este caso.

Figura 13

Método de curado utilizado



Fuente: Elaboración propia.

Las probetas de hormigón simple, tanto la de referencia como aquellas con adiciones de fibra de cáñamo, maíz triturado y maíz pulverizado, fueron sometidas a un régimen de curado húmedo continuo mediante inmersión total en tanques de agua a una temperatura controlada de 20 ± 2 °C. Este proceso se inició aproximadamente 24 horas después de su moldeo, una vez que alcanzaron la rigidez suficiente para su manipulación sin causar daños, y se mantuvo ininterrumpidamente durante los

períodos de 7, 14 y 28 días previos a la realización de los ensayos de resistencia a la compresión. La inmersión constante aseguró una saturación superficial sostenida, facilitando la hidratación completa del cemento y promoviendo el desarrollo adecuado de las propiedades mecánicas en cada una de las formulaciones de concreto evaluadas.

4.6. Dosificaciones aplicadas a cada mezcla

4.6.1. Dosificación para la resistencia especificada $f'_c = 21$ mpa

La proporción de dosificación en volúmenes aparentes 0.57: 1.00: 1.89: 1.77; está dada para un concreto de $f'_c=21$ MPa con 10 cm de asentamiento como máximo, pudiendo variar esta cantidad en función del contenido de humedad especialmente de la arena, ya que el cálculo de la dosificación esta realizado para un material en estado de saturación superficialmente seco; además deberá determinarse la cantidad de agua necesaria en función del asentamiento especificado. Las Parihuelas para medir el volumen de áridos serán de 36,15 centímetros de arista para respetar la dosificación calculada. Pudiendo dosificar con parihuelas de diferentes dimensiones; para lo cual se realizará su respectiva transformación al volumen de parihuela que se tenga en obra.

Tabla 7
Dosificación en Parihuelas

Dosificación en parihuelas	
Dimensión parihuela (cm)	33
Volumen parihuela (cm ³)	35,93
Parihuela equivalente	1,34
Agua	0,76
Cemento	1
A. Fino	2,53
A. Grueso	2,37

Fuente: Elaboración propia

La tabla presentada muestra una dosificación de concreto expresada en términos de parihuelas, una unidad de medida volumétrica comúnmente utilizada en

obras de construcción de menor escala. Los datos indican que una parihuela tiene una dimensión de 33 cm y un volumen de 35.93 cm³. La dosificación propuesta establece una proporción de 1 parihuela equivalente de agua por cada parihuela de cemento, y una relación agua-cemento de 0.76. Además, se emplean 2.53 parihuelas de agregado fino y 2.37 parihuelas de agregado grueso por cada parihuela de cemento. Esta dosificación sugiere una mezcla relativamente seca, lo que puede afectar la trabajabilidad del concreto. Sin embargo, es importante destacar que esta dosificación es altamente específica para las condiciones particulares de este proyecto.

4.6.2. Hormigón simple

Para definir las proporciones exactas de cada componente en la muestra de concreto simple, a continuación, se presenta la dosificación para preparar un cilindro de prueba. Estos valores asegurarán que la mezcla cumpla con los requisitos de rendimiento y trabajabilidad especificados para la resistencia en las condiciones dadas.

La siguiente tabla nos muestra la dosificación para cada cilindro de ensayo.

Tabla 8

Cilindro de ensayo de hormigón simple

CILINDRO DE ENSAYO	
Materiales	Masa para el ensayo (Kg)
Cemento Armaduro	2,3
Gravas y Arena	8,7
Fibra de maíz	0
Agua	0,86
Aire	0,056
Total	11,916

Fuente: Elaboración propia

El diseño de la mezcla para este cilindro de prueba incorpora 2,3 kg de cemento reforzado, 8,7 kg de grava y arena, 0 kg de fibra de maíz, 0,86 kg de agua y 0,056 kg

de aire, lo que resulta en una masa total de 11,916 kg. Analizando esta composición, la relación de agregados a cemento es de aproximadamente 3,78:1 en masa. La relación agua-cemento se calcula en $0,86 \text{ kg} / 2,3 \text{ kg} \approx 0,37$. Una relación agua-cemento en este rango generalmente se considera favorable para lograr una buena resistencia y durabilidad en el concreto, ya que proporciona suficiente agua para la hidratación del cemento sin cantidades excesivas que conducirían a un aumento de la porosidad por evaporación. La ausencia de fibra de maíz indica que la mezcla no está diseñada específicamente para mejorar propiedades como la resistencia a la flexión o el control de grietas. La presencia de 0,056 kg de aire es típica para mezclas de concreto.

En general, esta dosificación sugiere un diseño de mezcla que busca un hormigón de resistencia relativamente alta gracias a las proporciones equilibradas de cemento y agua. El rendimiento del hormigón producido con esta mezcla dependerá, en última instancia, de la calidad de los materiales constituyentes y de la eficacia de los procesos de mezclado y curado.

4.6.3. Hormigón con 3% de maíz pulverizado

Para evaluar el efecto de incorporar maíz en polvo en las propiedades de una mezcla de concreto, se formuló un diseño que incluye un 3% de este material en masa. Esta relación busca identificar el efecto del maíz en polvo en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. Aquí se presenta la dosificación utilizada para hacer un cilindro de prueba con un 3% de maíz en polvo:

Tabla 9

Cilindro de ensayo hormigón con 3% de hormigón pulverizado

CILINDRO DE ENSAYO	
Materiales	Masa para el ensayo (Kg)
Cemento Armaduro	2,3
Gravas y Arena	8,34
Maíz pulverizado	0,357

Agua	0,86
Aire	0,056
Total	11,913

Fuente: Elaboración propia

El diseño de la mezcla para este cilindro de prueba incluye 2,3 kg de cemento reforzado, 8,34 kg de grava y arena, 0,357 kg de maíz pulverizado, 0,86 kg de agua y 0,056 kg de aire, lo que resulta en una masa total de 11,913 kg. La relación de agregado a cemento es de aproximadamente 3,63:1 en masa. La relación agua a cemento se calcula como $0,86 \text{ kg} / 2,3 \text{ kg} \approx 0,37$, que generalmente se considera favorable para lograr una buena resistencia y durabilidad. La introducción de 0,357 kg de maíz pulverizado es una adición notable. Técnicamente, los materiales orgánicos pulverizados como el maíz pueden actuar como puzolanas bajo ciertas condiciones, lo que podría contribuir al desarrollo de la resistencia a largo plazo al reaccionar con el hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento. Sin embargo, la eficacia y el impacto en las propiedades del hormigón (como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado y la durabilidad) dependerían de la finura, la composición química y la reactividad del maíz pulverizado. Las proporciones generales sugieren una mezcla que busca una resistencia razonable debido a la equilibrada relación agua-cemento, y el maíz pulverizado podría ofrecer beneficios cementantes adicionales.

4.6.4. Hormigón con 5% de fibras de maíz

Para evaluar el efecto de una proporción más elevada de fibras de maíz en la mezcla, se formuló un diseño que incorpora un 5 % en masa de este material en el hormigón. Esta proporción busca analizar cómo una mayor inclusión de fibras naturales modifica las propiedades mecánicas, la trabajabilidad y la durabilidad de la

mezcla. A continuación, se presenta la dosificación empleada para elaborar un cilindro de ensayo con 5 % de fibras de maíz:

Tabla 10

Cilindro de Hormigón con 5% de fibras de maíz

CILINDRO DE ENSAYO	
Materiales	Masa para el ensayo (Kg)
Cemento Armaduro	2,3
Gravas y Arena	8,1
Fibras de maíz	0,59
Agua	0,86
Aire	0,056
Total	11,906

Fuente: Elaboración propia

El diseño de la mezcla para este cilindro de prueba comprende 2,3 kg de cemento reforzado, 8,1 kg de grava y arena, 0,59 kg de fibras de maíz, 0,86 kg de agua y 0,056 kg de aire, totalizando 11,906 kg. Esto arroja una relación árido-cemento de aproximadamente 3,52:1 y una relación agua-cemento de $0,86 \text{ kg} / 2,3 \text{ kg} \approx 0,37$.

En comparación con el análisis anterior con maíz pulverizado (0,357 kg), esta mezcla utiliza una cantidad ligeramente mayor de fibras de maíz (0,59 kg) y una cantidad ligeramente menor de áridos (8,1 kg frente a 8,34 kg). Las cantidades de agua y cemento se mantienen, manteniendo una relación agua-cemento calculada similar.

Técnicamente, el uso de fibras de maíz introduce material orgánico en la matriz del hormigón. Al igual que el maíz pulverizado, podría exhibir actividad puzolánica con el tiempo, contribuyendo al desarrollo de la resistencia. Sin embargo, la naturaleza más gruesa del maíz triturado en comparación con las fibras de maíz podría afectar su reactividad y su influencia en la trabajabilidad y las propiedades iniciales del concreto

de forma diferente. Un material más grueso podría potencialmente alterar más la matriz o afectar la retención de agua de forma distinta.

La observación previa de probetas "diluidas" con una mezcla que contenía fibras de maíz sugiere una posible interacción negativa del maíz procesado con la mezcla, lo que podría afectar su demanda de agua o cohesión. Con una mayor cantidad y una forma diferente (triturado) de maíz en esta mezcla actual, podría existir el riesgo de problemas similares o incluso exacerbados que provoquen dilución o segregación.

4.6.5. Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz triturado

Para estudiar combinaciones de diferentes adiciones de maíz en concreto, se realizó un diseño de mezcla en el que se incluyó un 2% en masa de fibra de maíz y agregado grueso de grano de maíz en la mezcla. Esta formulación intenta capitalizar los beneficios de ambos materiales: las fibras para mitigar grietas y mejorar la resistencia a la tracción, y el maíz pulverizado como un posible agregado ligero o material puzolánico. La relación agua/cemento se mantiene baja para fomentar el desarrollo de la resistencia y la presencia de aire puede tener efectos en la durabilidad. A continuación, se presenta la dosificación utilizada para preparar un espécimen de esta combinación:

Tabla 11

Componentes del cilindro de Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz triturado

CILINDRO DE ENSAYO	
Materiales	Masa para el ensayo (Kg)
Cemento Armaduro	2,3
Gravas y Arena	8.2
Fibras de maíz	0.24
Maíz triturado	0.24
Agua	0,86
Aire	0,056

Total	11,906
--------------	---------------

Fuente: Elaboración propia

El cilindro de ensayo presenta una composición que sugiere un material de construcción no convencional, donde el cemento armadura actúa como aglomerante junto con una alta proporción de gravas y arena como agregados para conferir resistencia y volumen, mientras que la adición de fibras de maíz busca mejorar la resistencia a la tracción y controlar la fisuración; la presencia de maíz triturado podría tener diversas finalidades como actuar como agregado ligero, generar porosidad o incluso aportar propiedades puzolánicas limitadas, aunque esto podría influir en la resistencia final; el agua es esencial para la hidratación del cemento, con una relación agua/cemento relativamente baja que podría indicar un potencial de alta resistencia pero menor trabajabilidad; finalmente, el aire presente, aunque en baja proporción de masa, podría ser aire atrapado que podría reducir la resistencia, o aire incorporado intencionalmente para mejorar la durabilidad ante ciclos de congelación y deshielo, lo que en conjunto define un material que requeriría pruebas mecánicas para determinar sus propiedades y aplicaciones específicas, diferenciándose de las mezclas de concreto tradicionales por la inclusión de componentes orgánicos como las fibras y el maíz triturado.

Capítulo 5: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos experimentales realizados para evaluar la resistencia a la compresión del hormigón modificado con fibras de maíz tratadas. Con este análisis buscamos responder a la pregunta principal de investigación: ¿Cómo influye la incorporación de fibras de maíz tratadas en la resistencia y sostenibilidad del hormigón de 240 kg/cm², en comparación con un hormigón de referencia sin fibras?

Para realizar los ensayos se tomó en cuenta los estándares de la norma ASTM C 136-06, evaluando cilindros de hormigón en diferentes etapas de curado (7, 14 y 28 días). Estos resultados nos permiten validar las hipótesis planteadas en capítulos anteriores respecto a la viabilidad de utilizar fibras de maíz como refuerzo en matrices cementicias.

Para el análisis se evaluará las propiedades mecánicas de las fibras de maíz: Se analizarán los datos obtenidos en las pruebas de tracción, flexión, humedad y durabilidad para determinar su influencia en el comportamiento del hormigón.

Dosificación óptima: Se identificó la proporción de fibras de maíz que proporciona el mejor desempeño en términos de resistencia y otras propiedades relevantes.

Comparación del rendimiento del hormigón con y sin fibras: Se evaluó el incremento o disminución de la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados de este estudio permitirán determinar si la incorporación de fibras de maíz tratadas en el hormigón representa una alternativa viable y sostenible para la construcción, contribuyendo a la reducción del consumo de materiales tradicionales y a la generación de un menor impacto ambiental.

5.1. Análisis granulométrico

5.1.1. Agregado fino

Tabla 12

Análisis granulométrico del agregado fino

TAMIZ No.	Masa retenida parcial (g)	Retenido Parcial (%)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	6,00	1	1	99,00
No. 4	27,93	6	7	93,00
No. 8	27,40	5	12	88,00
No. 16	35,16	7	19	81,00
No. 30	96,05	19	38	62,00
No. 50	104,95	21	59	41,00
No. 100	167,95	34	93	7,00
BANDEJA	34,20	7	100	0,00
MÓDULO DE FINURA			2,29	

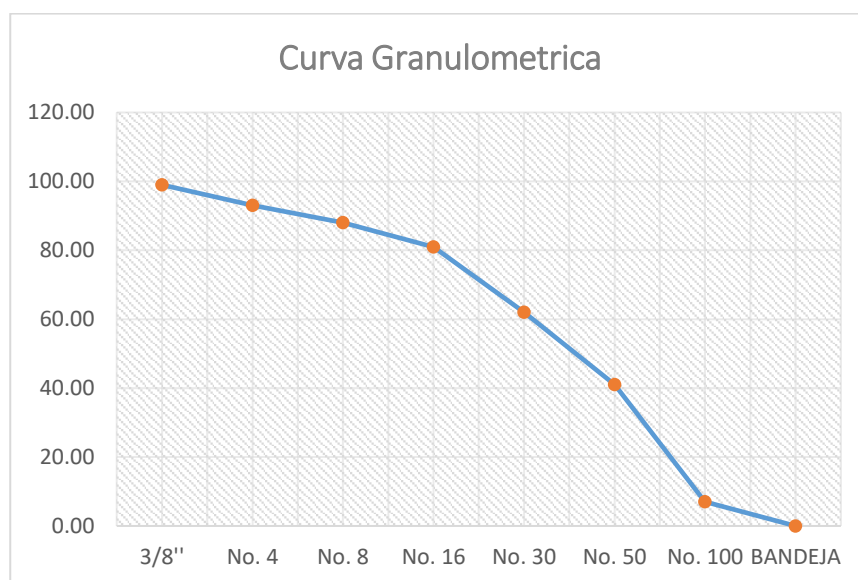
Fuente: Elaboración propia

El análisis granulométrico del agregado fino, según la norma ASTM C 136-06, revela una distribución de tamaños de partículas relativamente uniforme, con una mayor proporción de material que pasa por el tamiz No. 30. El módulo de finura de 2.29 indica un agregado de granulometría gruesa. Sin embargo, la presencia de una cantidad considerable de finos que pasan por el tamiz No. 100 sugiere la posibilidad de un exceso de material fino o polvo. Para determinar si esta granulometría cumple con las especificaciones, es necesario compararla con los límites de aceptación establecidos en la norma y en los requerimientos del proyecto. Un exceso de finos puede afectar negativamente la trabajabilidad y resistencia del concreto, mientras que un exceso de gruesos puede reducir su densidad y aumentar la segregación.

La curva granulométrica muestra una distribución relativamente uniforme de tamaños, aunque se observa una presencia considerable de finos que pasan por el tamiz No. 100, lo que podría sugerir una ligera tendencia hacia una granulometría más fina.

Figura 14

Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Agregado grueso

Tabla 13

Análisis granulométrico del agregado grueso

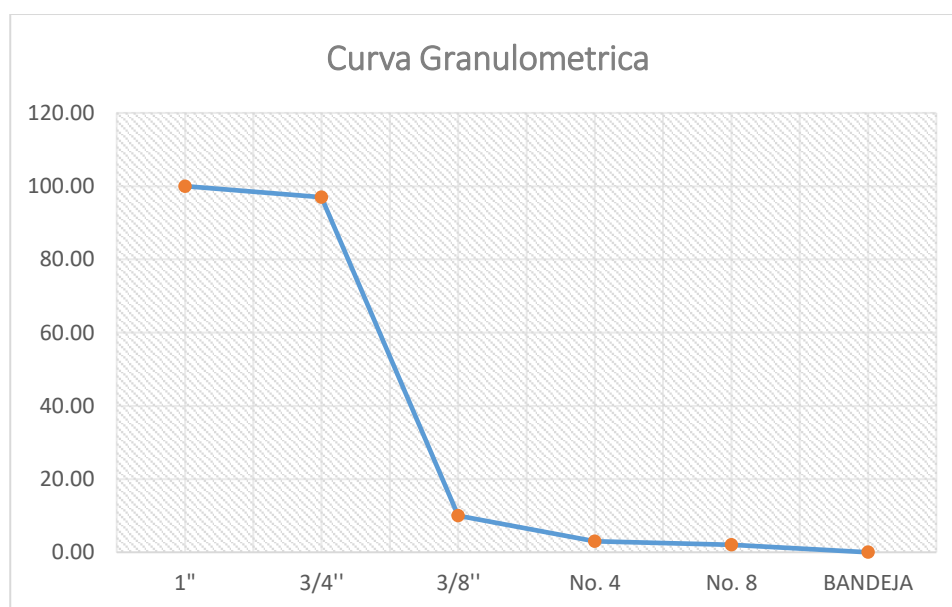
TAMIZ No.	Masa retenida parcial (g)	Retenido Parcial (%)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1"	-	-	0	100,00
3/4"	66,86	3	3	97,00
3/8"	1.748.03	87	90	10,00
No. 4	137,07	7	97	3,00
No. 8	14,86	1	98	2,00
BANDEJA	32,89	2	100	
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL			3/8"	

Fuente: Elaboración propia

El análisis granulométrico del agregado grueso, según la norma ASTM C 136-06, revela una distribución de tamaños de partículas con un tamaño máximo nominal de 3/8". La curva granulométrica muestra una concentración significativa de material en el rango de 3/8", lo que sugiere una granulometría relativamente uniforme. Sin embargo, la presencia de un porcentaje considerable de material que pasa por el tamiz No. 4 indica la posible inclusión de finos no deseados, la granulometría del agregado grueso presenta características generales aceptables.

Figura 15

Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

5.2. Ensayo del contenido de Humedad

Tabla 14

Ensayos del contenido de la humedad

ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL AGREGADO GRUESO Y FINO						
RECIPIEN TE No.	Masa de Muestra Húmeda +	Masa de Muestra Seca + Recipiente	Masa de Agua	Masa del recipiente	Masa muestra seca	Porcentaje de Humedad Natural

Recipient e						
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	%
1	786,4	760,8	25,6	186,1	574,7	4,45

Fuente: Elaboración propia

El ensayo de humedad presentado en la tabla muestra un contenido de humedad natural del 4.45% para la muestra de agregado analizada. Este valor representa la proporción de agua presente en el agregado en relación con su masa seca. Aunque la norma ASTM C 136-06 no establece límites específicos para el contenido de humedad de los agregados, un valor de 4.45% se considera generalmente dentro de un rango aceptable para muchos tipos de concreto. Sin embargo, es importante considerar factores como el tipo de agregado, las condiciones climáticas y las especificaciones del proyecto al evaluar si este contenido de humedad es adecuado. Un contenido de humedad excesivo puede afectar negativamente la trabajabilidad y resistencia del concreto, mientras que un contenido de humedad muy bajo puede dificultar la mezcla y el compactado.

5.3. Ensayos de compresión

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

Tabla 15

Ensayos de compresión de cilindros

ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN DE $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$												
No.	HORMIGÓN BASE $f'_c 240$			HORMIGÓN CON 3% de maíz pulverizado			HORMIGÓN BASE CON 5% DE FIBRAS DE MAIZ			HORMIGÓN CON 2% de maíz TRITURADO Y 2% DE FIBRAS DE MAIZ		
	(kg/cm ²)			(kg/cm ²)			(kg/cm ²)			(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	155	193,4	242,6	143,5	199,4	247	85,7	106	121,3	65	90,9	109,9
2	152	187,6	243,3	143,8	196,3	248,4	92,5	104,8	123	72	92,4	113,7
0	153,5	190,5	242,95	143,65	197,85	247,7	89,1	105,4	122,15	68,5	91,65	111,8

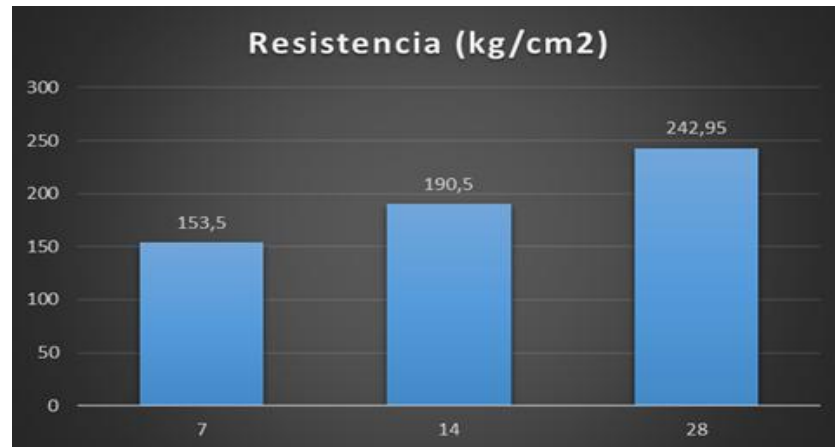
Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Hormigón base f'c 240 (kg/cm²)

El ensayo se lo realizo el 02/03/2025 esto para la muestra de 7 días, 09/03/2025 para la muestra de 14 días y el 16/03/2025 para obtener la muestra a los 28 días obteniendo los resultados de la siguiente imagen.

Figura 16

Resistencia del hormigón f'c 240(kg/cm²)



Fuente: Elaboración propia

La imagen proporcionada muestra la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a diferentes edades de curado: 153,5 kg/cm² a los 7 días, 190,5 kg/cm² a los 14 días y 242,95 kg/cm² a los 28 días. Una resistencia a la compresión alcanzada de 242,95 kg/cm² a los 28 días indica que el concreto ha alcanzado un nivel de resistencia moderado, superando ligeramente el objetivo de 240 kg/cm². El aumento de resistencia observado de 7 a 28 días demuestra el proceso de hidratación continuo del cemento, con un aumento significativo dentro de las primeras dos semanas.

Técnicamente, esta progresión sugiere un diseño de mezcla razonablemente bien proporcionado y condiciones de curado adecuadas que permitieron el desarrollo continuo de la resistencia. La resistencia a los 28 días es un indicador crucial de la capacidad de carga del concreto y su idoneidad para aplicaciones estructurales.

Para llegar a este resultado se utilizó la siguiente formula.

Ecuación 6

Esfuerzo de compresión 1

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \frac{\text{Carga Ma'xima (kN)} \times 1000}{\text{Sección transversal (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \frac{266.05 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = 15.05Mpa$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = 15.05Mpa * \frac{10.197kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \mathbf{153.46 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = \frac{330.15 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = 18.68Mpa$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = 18.68Mpa * \frac{10.197kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = \mathbf{190.5 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = \frac{242.95 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = 23.85Mpa$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = 23.85Mpa * \frac{10.197kg/cm^2}{MPa}$$

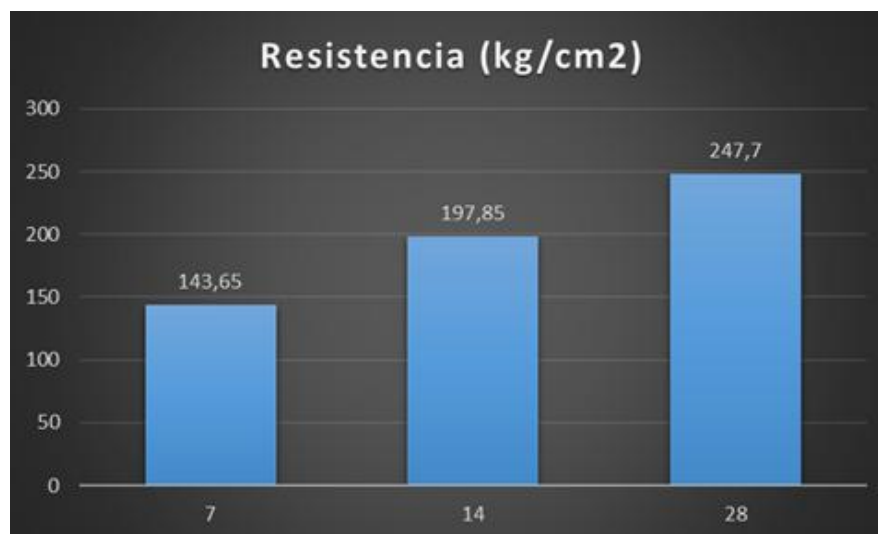
$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = \mathbf{242.95 \text{ kg/cm}^2}$$

5.3.2. Hormigón con 3% de maíz pulverizado

El ensayo se lo realizo el 2/03/2025 esto para la muestra de 7 días, 9/03/2025 para la muestra de 14 días y el 16/04/2025 para obtener la muestra a los 28 días obteniendo los resultados de la siguiente imagen.

Figura 17

Resistencia del Hormigón con 3% de maíz pulverizado



Fuente: Elaboración propia

Con base en la imagen proporcionada que muestra resistencias a la compresión de 153,5 kg/cm² a los 7 días, 190,5 kg/cm² a los 14 días y 242,95 kg/cm² a los 28 días, y considerando que estos cilindros se fabricaron con una mezcla de concreto que apuntaba a 240 kg/cm² a los 28 días con una adición del 3% de maíz pulverizado, los resultados indican que la resistencia objetivo se logró con éxito e incluso se superó ligeramente. El aumento progresivo de la resistencia durante el período de curado demuestra la hidratación continua de los materiales cementicios, y la resistencia final a los 28 días sugiere que la inclusión del 3% de maíz pulverizado no afectó negativamente la resistencia última a la compresión, e incluso puede haber contribuido positivamente a través de posibles reacciones puzolánicas. Técnicamente, estos valores de resistencia sugieren que el diseño de la mezcla, incluido el 3% de maíz pulverizado, junto con las

condiciones de curado, fueron efectivos para producir hormigón con la resistencia a la compresión deseada para su aplicación prevista.

Para llegar a este resultado se utilizó la siguiente formula.

Ecuación 7

Esfuerzo de compresión 2

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \frac{\text{Carga Ma'xima (kN)} \times 1000}{\text{Sección transversal (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \frac{248.95 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = 14.1 \text{ Mpa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = 14.1 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \mathbf{143.6 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = \frac{342.9 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = 19.45 \text{ Mpa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = 19.45 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = \mathbf{197.85 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = \frac{429 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = 24.3 \text{ Mpa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = 24.3 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

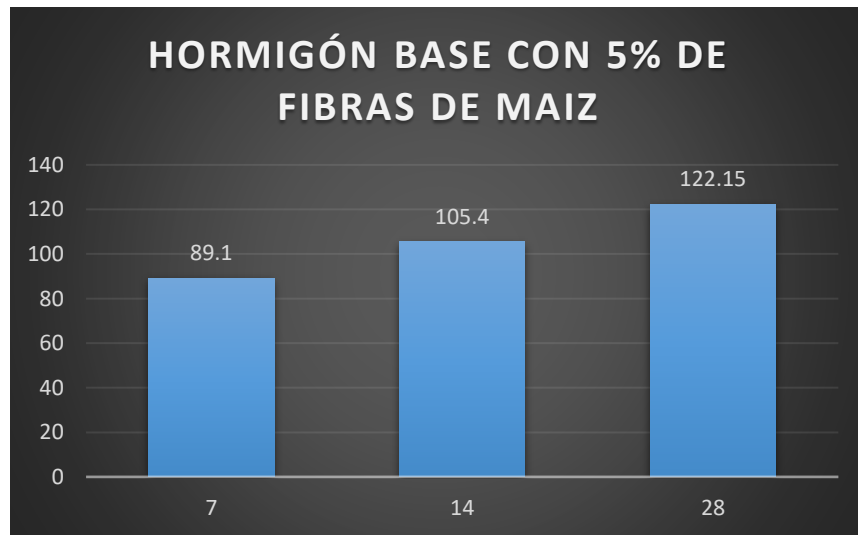
$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)_{28 \text{ días}} = 247.7 \text{ kg/cm}^2$$

5.3.3. Hormigón con 5% de fibras de maíz

El ensayo se lo realizo el 02/03/2025 esto para la muestra de 7 días, 09/03/2025 para la muestra de 14 días y el 16/03/2025 para obtener la muestra a los 28 días obteniendo los resultados de la siguiente imagen.

Figura 18

Hormigón con 5% de fibras de maíz



Fuente: Elaboración propia

El hormigón base con la adición de un 5% de fibras de maíz exhibe una tendencia creciente en su resistencia a la compresión a medida que avanza el curado, alcanzando un valor de 89.1 kg/cm² a los 7 días, incrementándose a 105.4 kg/cm² a los 14 días y finalmente llegando a 122.15 kg/cm² a los 28 días; este aumento progresivo indica que las fibras de maíz contribuyen al desarrollo de la resistencia del hormigón con el tiempo, posiblemente actuando como refuerzo interno que mejora la capacidad del material para soportar cargas compresivas a medida que la matriz cementicia hidrata y se fortalece.

Para llegar a este resultado se utilizó la siguiente formula.

Ecuación 8

Esfuerzo de compresión 3

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \frac{\text{Carga Ma'xima (kN)} \times 1000}{\text{Sección transversal (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \frac{154.45 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = 8.75 \text{ Mpa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = 8.75 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \mathbf{89.1 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = \frac{182.65 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = 10.35 \text{ Mpa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = 10.35 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = \mathbf{105.4 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = \frac{211.65 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = 12 \text{ Mpa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = 12 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

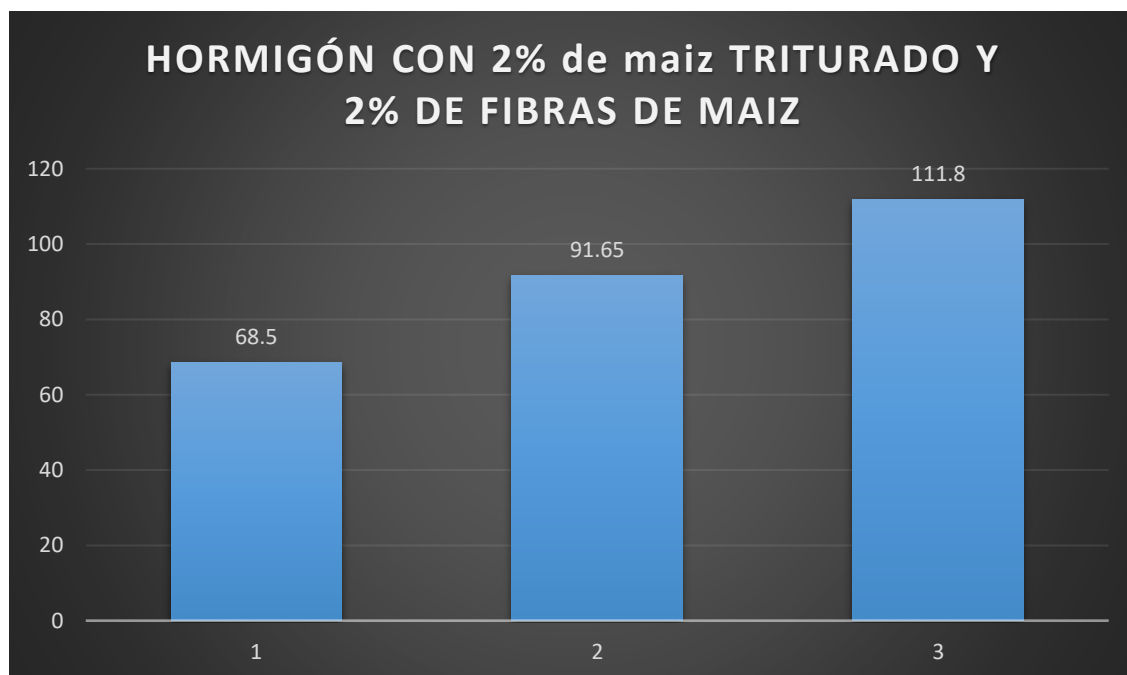
$$\text{Esfuerzo de compresión} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = \mathbf{122.15 \text{ kg/cm}^2}$$

5.3.4. Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz pulverizado

El ensayo se lo realizo el 19/03/2025 esto para la muestra de 7 días, 26/03/2025 para la muestra de 14 días y el 2/04/2025 para obtener la muestra a los 28 días obteniendo los resultados de la siguiente imagen.

Figura 19

Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz pulverizado



Fuente: Elaboración propia

La probeta de hormigón que contiene un 2% de maíz triturado y un 2% de fibras de maíz presenta una resistencia a la compresión que evoluciona positivamente con el tiempo de curado, registrando un valor de 68.5 kg/cm² al día 7, incrementándose a 91.65 kg/cm² a los 14 días y alcanzando los 111.8 kg/cm² a los 28 días; este patrón de aumento gradual sugiere que tanto el maíz triturado como las fibras de maíz contribuyen al desarrollo de la resistencia del hormigón a medida que progresa la hidratación del cemento, aunque el incremento entre los 14 y 28 días parece ser más pronunciado, indicando una contribución significativa de estos aditivos a la resistencia tardía del material sin embargo es una de las mezclas más frágiles .

Para llegar a este resultado se utilizó la siguiente formula.

Ecuación 9

Esfuerzo de compresión 4

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \frac{\text{Carga Ma'xima (kN)} \times 1000}{\text{Sección transversal (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \frac{118.75 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = 6.75 \text{ Mpa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = 6.75 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{7 \text{ días}} = \mathbf{68.5 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = \frac{158.85 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = 9 \text{ Mpa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = 9 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{14 \text{ días}} = \mathbf{91.65 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = \frac{193.75 \text{ (kN)} \times 1000}{17671.46 \text{ (mm}^2\text{)}} * \left(\frac{10mm}{1cm} \right)^2$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = 11 \text{ Mpa}$$

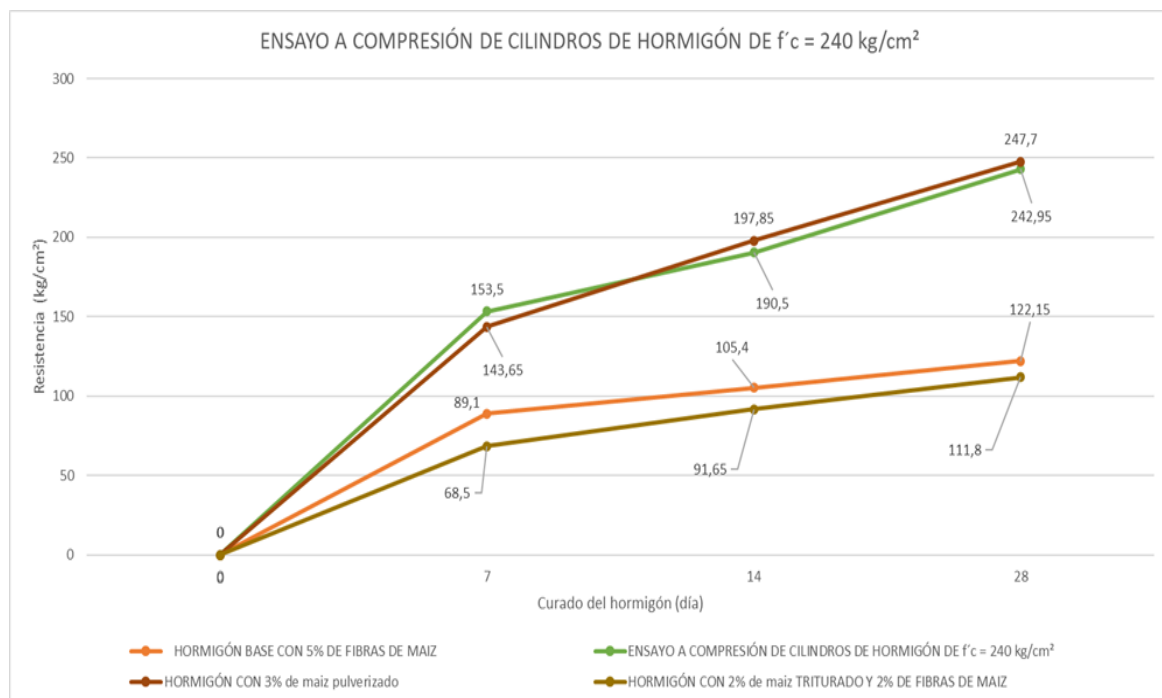
$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = 11 \text{ Mpa} * \frac{10.197 kg/cm^2}{MPa}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión } \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{28 \text{ días}} = \mathbf{111.8 \text{ kg/cm}^2}$$

5.4. Comparación de Resultados

Figura 20

Resultados de los ensayos de compresión de cilindros de hormigón de $f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica que representa el ensayo a compresión de cilindros de hormigón con una resistencia de diseño (f_c) de 240 kg/cm^2 , se observa la evolución de la resistencia a la compresión en función del curado del hormigón, comparando una mezcla estándar con una que incorpora un 3% de maíz pulverizado. Inicialmente, ambas mezclas presentan una resistencia nula al día cero, como es de esperar. A los 7 días de curado, la mezcla estándar alcanza una resistencia de 153.5 kg/cm^2 , ligeramente superior a los 143.65 kg/cm^2 de la mezcla con maíz pulverizado. Sin embargo, a los 14 días, la tendencia se invierte, mostrando la mezcla con maíz pulverizado una resistencia de 197.85 kg/cm^2 , superando los 190.5 kg/cm^2 de la mezcla estándar. Finalmente, a los 28 días, ambas mezclas continúan ganando resistencia, aunque la mezcla con 3% de maíz pulverizado

alcanza una resistencia de 247.7 kg/cm², manteniéndose superior a la mezcla estándar que llega a los 242.95 kg/cm².

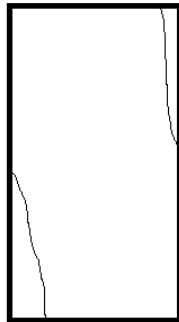
La mezcla más resistente a la compresión a los 28 días es el hormigón con 3% de maíz pulverizado, alcanzando una resistencia de 247.7 kg/cm². Esto sugiere que la adición de un 3% de maíz pulverizado podría tener un efecto positivo en el desarrollo de la resistencia a largo plazo del hormigón, posiblemente debido a cambios en la microestructura o la reactividad de los componentes de la mezcla que favorecen una mayor hidratación y densificación con el tiempo en comparación con la mezcla estándar.

5.5. Tipos de fallas presentes al realizarse los ensayos de compresión

5.5.1. Hormigón base f'c 240 kg/cm²

Tabla 16

Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 7 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm²)

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'c 240 kg/cm ²)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	268.70	176.71	15.2	155	V
II	150	263.4	176.71	14.9	152	V
Probeta I						
						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 14 Días (Hormigón Base F'c 240 Kg/Cm²)

Fuente: Elaboración propia

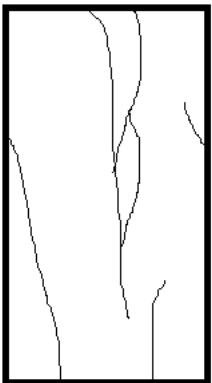
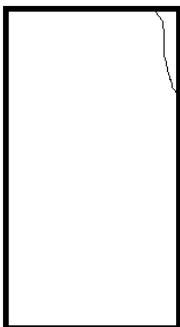
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 14 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'_c 240 kg/cm ²)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	335.2	176.71	19	193.4	V
II	150	325.1	176.71	18.4	187.6	V
Probeta I						
						

Tabla 18

Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 28 días (Hormigón Base f'_c 240 Kg/Cm²)

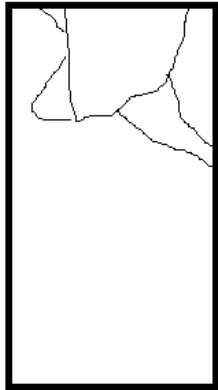
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'_c 240 kg/cm ²)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	420.4	176.71	23.8	242.6	III
II	150	421.7	176.71	23.9	243.3	III
Probeta I						
						

Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Hormigón con 3% de maíz pulverizado

Tabla 19

Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 7 Días (Hormigón Base f'_c 240 Kg/Cm² Con 3%De Maíz Pulverizado)

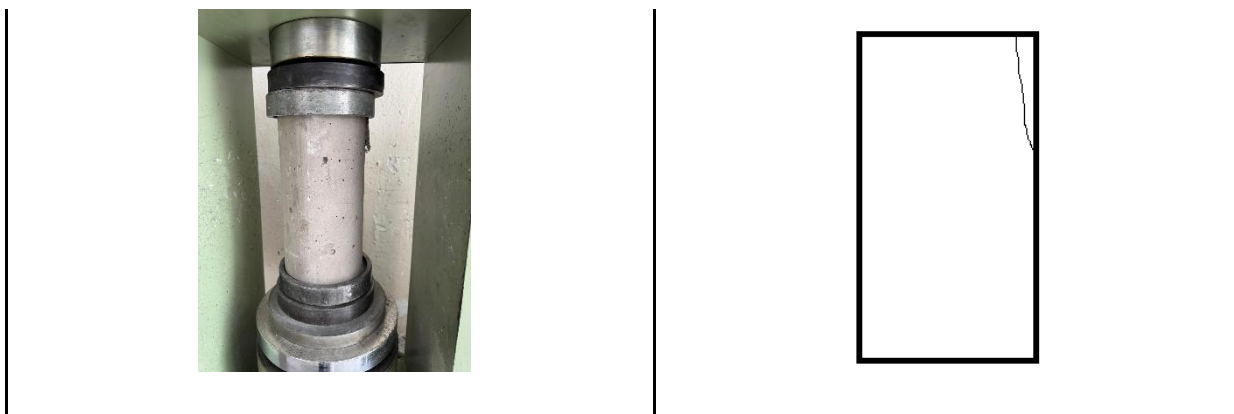
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'_c 240 kg/cm² CON 3%DE MAÍZ PULVERIZADO)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm²)	Tipo de falla
I	150	248.7	176.71	14.1	143.5	III
II	150	249.2	176.71	14.1	143.8	V
III	150	242.50	176.71	13.7	139.9	III
Probeta I						
						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Ensayos de Resistencia a Compresión a la Edad de 14 Días (Hormigón Base f'_c 240 Kg/Cm² Con 3%De Maíz Pulverizado)

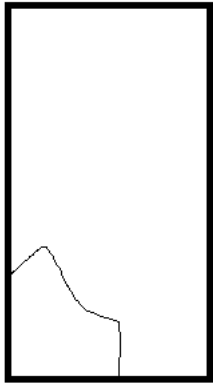
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 14 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'_c 240 kg/cm² CON 3%DE MAÍZ PULVERIZADO)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm²)	Tipo de falla
I	150	345.6	176.71	19.6	199.4	v
II	150	340.2	176.71	19.3	196.3	V
III	150	341.4	176.71	19.3	197	V
Probeta I						



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Ensayos de resistencia a compresión a la edad de 28 días Hormigón Base $F'c$ 240 Kg/Cm² Con 3%De Maíz Pulverizado)

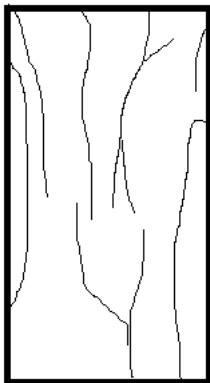
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS (HORMIGÓN BASE $f'c$ 240 kg/cm ² CON 3%DE MAÍZ PULVERIZADO)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	428	176.71	24.2	247	v
II	150	430.5	176.71	24.4	248.4	V
III	150	447.1	176.71	25.3	258	V
Probeta I						
						

Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Hormigón con 5% de fibras de maíz

Tabla 22

Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 7 Días (Hormigón Base f'_c 240 Kg/Cm² Con 5%De Fibras De Maíz)

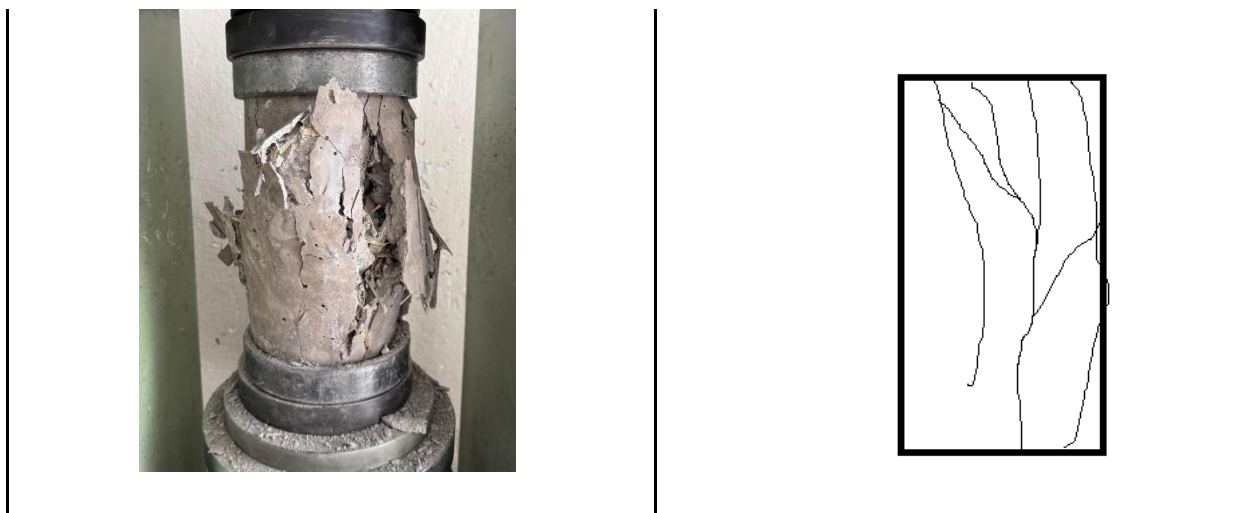
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'_c 240 kg/cm ² CON 5%DE FIBRAS DE MAIZ)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	148.60	176.71	8.4	85.7	v
II	150	160.3	176.71	9.1	92.5	III
Probeta I						
						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 14 Días (Hormigón Base f'_c 240 Kg/Cm² Con 5%De Fibras De Maiz)

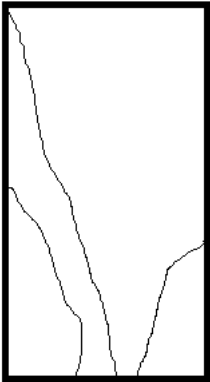
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 14 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'_c 240 kg/cm ² CON 5%DE FIBRAS DE MAIZ)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	183.7	176.71	10.4	106	V
II	150	181.6	176.71	10.3	104.8	V
Probeta I						



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 28 Días (Hormigón Base f'_c 240 Kg/Cm² Con 5%De Fibras De Maíz)

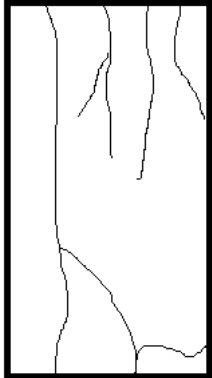
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'_c 240 kg/cm ² CON 5%DE FIBRAS DE MAIZ)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	210.2	176.71	11.9	121.3	V
II	150	213.1	176.71	12.1	123	III
Probeta I						
						

Fuente: Elaboración propia

5.5.4. Hormigón con 2% de fibras de maíz y 2% de maíz triturado

Tabla 25

Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 28 Días (Hormigón Base $f'c$ 240 Kg/Cm² Con 2% De Fibras De Maíz Y 2% De Maíz Triturado)

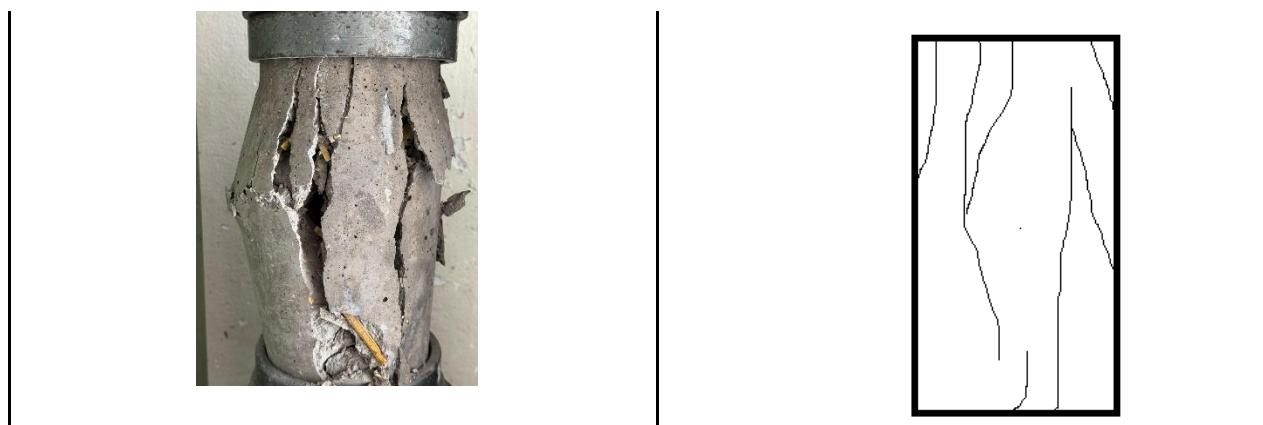
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS (HORMIGÓN BASE $f'c$ 240 kg/cm ² CON 2% DE FIBRAS DE MAÍZ Y 2% DE MAÍZ TRITURADO)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	112.7	176.71	6.4	65	III
II	150	124.8	176.71	7.1	72	V
Probeta I						
						

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 28 Días (Hormigón Base $f'c$ 240 Kg/Cm² Con 2% De Fibras De Maíz Y 2% De Maíz Triturado)

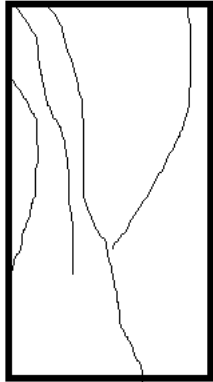
ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS (HORMIGÓN BASE $f'c$ 240 kg/cm ² CON 2% DE FIBRAS DE MAÍZ Y 2% DE MAÍZ TRITURADO)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm ²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de falla
I	150	157.6	176.71	8.9	90.9	V
II	150	160.1	176.71	9.1	92.4	V
Probeta I						



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Ensayos De Resistencia A Compresión A La Edad De 28 Días (Hormigón Base f'_c 240 Kg/Cm² Con 2% De Fibras De Maíz Y 2% De Maíz Triturado)

ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS (HORMIGÓN BASE f'_c 240 kg/cm² CON 2% DE FIBRAS DE MAÍZ Y 2% DE MAÍZ TRITURADO)						
Probeta	Diámetro(mm)	Carga (KN)	Área(cm²)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (kg/cm²)	Tipo de falla
I	150	190.4	176.71	10.8	109.9	III
II	150	197.1	176.71	11.2	113.7	III
Probeta I						
						

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La incorporación de maíz pulverizado al concreto simple de 240 kg/cm² mostró una mejora significativa en la resistencia a compresión, especialmente cuando se utiliza una proporción de (3% de maíz pulverizado). Esta proporción proporcionó una adecuada cohesión interna, reduciendo micro fisuras y aumentando la tenacidad de la mezcla sin comprometer su trabajabilidad presentando una resistencia a la compresión de 247.7 kg/cm² siendo mayor que la del hormigón base la cual es de 242.95 kg/cm².

La mezcla que incorporó un 3.0% de maíz pulverizado fue la que presentó la mayor resistencia a compresión, especialmente a los 28 días de curado, con un incremento significativo respecto al concreto con fibras de maíz. Este comportamiento se atribuye a la adecuada distribución en maíz pulverizado dentro de la matriz cementicia y a su capacidad de absorber energía antes de que se propague una grieta, mejorando así la ductilidad.

En contraste, la mezcla con 5% de fibras de maíz evidenció una reducción en la resistencia a compresión en comparación con la del 3.0%, especialmente a los 7 días que es muy baja siendo esta de 89.1 kg/cm². El exceso de fibras generó una matriz heterogénea, dificultando la compactación y creando zonas de baja adherencia, lo que afectó negativamente su desempeño estructural. Sin embargo, la mezcla con 2% de maíz triturado y 2% de fibras de maíz presenta una resistencia a la compresión de 111.8 kg/cm² por lo tanto, esta fue la mezcla menos resistente del análisis.

Se comprobó que la dosificación y tratamiento previo de las fibras son factores críticos. La aplicación de fibras secadas y cortadas adecuadamente, con una longitud controlada de 2–4 cm, no permitió su correcta integración con la pasta cementicia.

A nivel ambiental, el uso de fibras de maíz representa una estrategia viable para la gestión de residuos agrícolas, disminuyendo la dependencia de materiales sintéticos y reduciendo la huella de carbono del concreto. Desde un enfoque técnico, esta solución es replicable en proyectos que buscan optimizar recursos sin comprometer los estándares estructurales.

6.2. Recomendaciones

Estandarizar un tratamiento alcalino para las fibras de maíz antes de su incorporación al hormigón, ya que este proceso mejora la adherencia fibra-matriz y optimiza las propiedades mecánicas del compuesto, especialmente la resistencia a compresión y flexión.

Limitar la proporción de fibras de maíz en la mezcla de hormigón a un porcentaje óptimo determinado experimentalmente (por ejemplo, entre 0.5% y 1% en volumen), para evitar problemas de trabajabilidad y asegurar una distribución homogénea sin afectar la resistencia final.

Implementar protocolos de secado y control de humedad en las fibras de maíz antes de su uso, ya que un contenido de humedad elevado puede afectar negativamente la calidad del curado y la durabilidad del hormigón.

ANEXOS

Mina de recolección de materiales



Recolección de maíz y proceso de secado



Dosificación de cantidades de material



Mezclas de material, elaboración de cilindros, curado y desencofrado





Pesaje y roturas en laboratorio







Referencias (APA)

- Callejas, R. (2010). *Formulación y Evaluación de un Plan Negocio*. Quito, Ecuador: McGraw Hill. doi:978-9942-03-111-2
- Cedeño, H., Chávez, J., Macías, L., & Ortiz, E. (2022). *Combinación de mezclas de agregados gruesos y finos pertenecientes a la Cantera Uruzca para diferentes resistencias de hormigón*. Fonte: <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/69>
- Cedillo, J., Feijoo, M., & Ordoñez, C. (2022). *Caracterización Granulométrica del Rio Upano*. Fonte: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9042985.pdf>
- Ducat, M., Quiñonez, K., & López, D. (2022). *Environmental Responsibility of a Stone aggregates*. Fonte: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/778/7784089006/7784089006.pdf>
- Jaramillo, H., Palmett, O., Gallado, R., & Hurtado, J. (2019). *Mortero Con Fibras de Maiz, Un Ejemplo para Realizar Los Trabajos de Investgacion*. Fonte: <https://es.scribd.com/document/449525473/MORTERO-CON-FIBRAS-DE-MAIZ-UN-EJEMPLO-PARA-REALIZAR-LOS-TRABAJOS-DE-INVESTGACION-pdf>
- Manley, F. y. (2009). *MÉTODOS PARA MEDIR LA DUREZA DEL GRANO DE MAÍZ: REVIEW METHODS FOR THE MEASURMENT OF MAIZE GRAIN HARDNESS: REVIEW*. Fonte: RESEACHGATE: https://www.researchgate.net/publication/341622677_METODOS_PARA_MEDIR_LA_DUREZA_DEL_GRANO_DE_MAIZ_REVIEW_METHODS_FOR_THE_MEASURMENT_OF_MAIZE_GRAIN_HARDNESS_REVIEW

- Martínez, M., Palacios, I., & Hernán, H. (2022). *Composición química del grano de maíz (Zea mays) Chococito del municipio de Quibdó, Chocó, Colombia*. Fonte: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1619/1946>
- Morales, J., Barrera, E., & ,Alonso, A. (2022). *INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE RAP EN LA GRANULOMETRÍA Y EL CONTENIDO DE ASFALTO DE MEZCLAS RECICLADAS*. Fonte: <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/111>
- Muchotrigo, K., & Reynoso, J. (2023). *Adición de Fibra de Ichu y Cenizas de Capacho de Maíz para Optimizar las*. Fonte: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9280095.pdf>
- Ortiz, E., García, J., Jarre, C., & Hidalgo, R. (2020). *Estudio comparativo de resistencias de hormigón de 240kg/cm2 usando los agregados finos, entre el rio Portoviejo y el rio Chone de la Provincia de Manabí*. Fonte: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/download/2501/2674/8396>
- Paricaguán, B., & Muñoz, J. (2019). *Estudio de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. Fonte: <https://www.redalyc.org/journal/707/70760276009/html/>
- Quintero, M. (2022). *Caracterización en el diseño de pavimentos utilizando como material sostenible agregados pétreos y RCD en vías terciarias*. Fonte: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/9aeb385b-b0b8-4153-87f6-b7b5526f8a7c>
- Robayo, M. (2022). *Análisis comparativo entre hormigón tradicional y hormigón con fibra de acero y*. Fonte: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8638007.pdf>
- Roca, L. (2023). *AGREGADO GLOBAL-MODULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS.pdf*. Fonte:

<https://es.slideshare.net/slideshow/semana-31-agregado-globalmodulo-de-finura-de-la-combinacin-de-los-agregadospdf/261786376>

Rosales, M., & Guaranda, L. (2022). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DE HORMIGÓN $F'c$ 240 Kg/ cm² Y MORTERO ELABORADOS CON LASTRE DE LOS ALUVIALES DEL RÍO SAN PABLO (EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS) Y AGREGADOS DEL RÍO ZAPOTAL (CANTÓN SANTA ELENA)*”.

Fonte: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8433/1/UPSE-TIC-2022-0025.pdf>

Saenz, J., & Calderon, K. (2023). *Análisis de las propiedades mecánicas y desempeño de mezclas asfálticas de granulometría alterada, por la supresión de los tamaños intermedios del árido grueso, Huancayo 2022.* Fonte: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14351>

Smith, J., López, M., & Khan, A. (2021). *Utilization of Agricultural Waste Fibers for Improving the Mechanical Properties of Concrete.* Fonte: Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 18, No. 4. pp. 320-334.

Velásquez, W., Ortiz, E., & Panchana. (2022). *Análisis comparativo de agregados pétreos, para fabricación de hormigones en la construcción de obras civiles.* Fonte: <https://revista-edwardsdeming.com/index.php/es/article/view/105>

Vélez, B., & Ruiz, W. (2022). *Estudio de los agregados pétreos de las canteras de Manabí y la dosificación del hormigón en la construcción de viviendas de interés social.* Fonte: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9042980.pdf>

Vélez, B., & Ruíz, W. (2022). *Estudio de los agregados pétreos de las canteras de Manabí y la dosificación del hormigón en la construcción de viviendas de interés social.* Fonte: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042980>

Villarreal, M. (2022). *Análisis del desgaste de los agregados pétreos en el departamento de Santander*. Fonte: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/43765>

Zábala, C. (2022). *Determinación del módulo de elasticidad en hormigones hidráulicos de (f_c 21 y 24) MPa utilizando agregados de la cantera San José del cantón de Portoviejo*”. Fonte:

<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4848/1/Castro%20Briones%20Manuel%20Macario.pdf>