



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

TEMA

**“ANÁLISIS MECÁNICO ENTRE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y
HORMIGÓN CON ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE MANÍ”**

TUTOR

MSC. KARLA PAMELA CRESPO LEÓN

AUTORES

CÁCERES ENCALADA JONATHAN EDUARDO

GONZÁLEZ CÁRDENAS CELIA STEFANÍA

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Análisis mecánico entre un hormigón tradicional y hormigón con adición de ceniza de cascara de maní.	
AUTOR/ES: Cáceres Encalada Jonathan Eduardo González Cárdenas Celia Stefanía	TUTOR: MSc. Crespo León Karla Pamela
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2024	N. DE PÁGS: 115
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: Hormigón - Resistencia a la compresión - Materiales de construcción – Sostenibilidad	
RESUMEN: Este estudio investiga el comportamiento mecánico de un hormigón tradicional frente a hormigones modificados con adición de ceniza de cáscara de maní en porcentajes del 5%, 10%, y 15% como reemplazo parcial del cemento. El propósito es evaluar la viabilidad de este subproducto agrícola como material sostenible en la construcción, específicamente analizando la resistencia a la compresión a los 7, 14, y 28 días. Se realizaron ensayos físicos y mecánicos en probetas, curadas y sometidas a compresión. Los resultados muestran que la resistencia de diseño del hormigón tradicional es de 210 kg/cm ² . Las mezclas con un 5% de ceniza presentaron una ligera disminución de resistencia, entre un 2-5%, mientras que con un 10% la reducción fue del 5-8%. Al utilizar un 15% de ceniza, la disminución en la resistencia fue más significativa, alcanzando un 10-15%. Aunque la adición de ceniza de cáscara de maní en bajas proporciones es viable y contribuye a la sostenibilidad, su uso en mayores porcentajes compromete la resistencia mecánica del hormigón, limitando su aplicación en estructuras que requieren alta durabilidad. Este estudio sugiere que la ceniza de cáscara de maní puede ser utilizada en hormigones, pero se recomienda investigar mezclas óptimas para maximizar sus beneficios.	

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Cáceres Encalada Jonathan Eduardo González Cárdenas Celia Stefanía	Teléfono: 0987139214 0985984960	E-mail: jcacerese@ulvr.edu.ec cgonzalezc@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Master Ing. Civil. Marcial Sebastián Calero Amores (Decano) Teléfono: 042-596500 Ext. 260 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr. Ing. Civil Jorge Enrique Torres Rodríguez (Director de Carrera) Teléfono: 042-596500 Ext. 242 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Tesis Caceres Encalada y Gonzalez turnitin.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %	7 %	2 %	5 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	3 %
2	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	2 %
3	Submitted to Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil Trabajo del estudiante	2 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

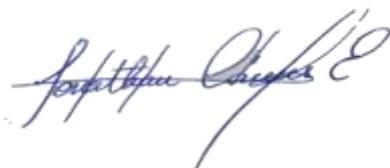


DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) CÁCERES ENCALADA JONATHAN EDUARDO Y GONZÁLEZ CÁRDENAS CELIA STEFANÍA, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Análisis mecánico entre un hormigón tradicional y hormigón con adición de ceniza de cascara de maní. corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autor(es)



Firma:

JONATHAN EDUARDO CÁCERES ENCALADA

092694549-4



Firma:

CELIA STEFANÍA GONZÁLEZ CÁRDENAS

095297216-4

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Análisis mecánico entre un hormigón tradicional y hormigón con adición de ceniza de cascara de maní, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Análisis mecánico entre un hormigón tradicional y hormigón con adición de ceniza de cascara de maní, presentado por el (los) estudiante (s) CÁCERES ENCALADA JONATHAN EDUARDO Y GONZÁLEZ CÁRDENAS CELIA STEFANÍA como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



KARLA PAMELA CRESPO LEÓN

C.C. 0919203414

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza, sabiduría, paciencia necesaria para completar este trabajo y a su vez guiarme en cada etapa de mi vida.

A mi madre, Raquel Cárdenas Moreno ejemplo de fuerza y valentía inquebrantable. Gracias por mostrarme, desde siempre, que la vida puede ser difícil, pero nunca imposible. Tus sacrificios, tu lucha diaria y tu determinación me han enseñado a no darme por vencida, incluso en los momentos más complicados. Eres mi mayor inspiración y la razón por la que hoy llego hasta aquí. Todo lo que soy y todo lo que he logrado, te lo debo a ti. Gracias por ser mi ejemplo, mi apoyo y mi mayor fortaleza.

A mis profesores y tutora quienes me guiaron con dedicación y temple a lo largo de mis estudios.

DEDICATORIA

A mi madre Raquel Cárdenas Moreno y mi padre John González Piza, por su apoyo incondicional, su amor y confianza en mis aptitudes. Gracias por sus sacrificios, muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los que se incluye este.

A mi abuela materna, todo lo que tengo en la vida se lo debo al cuidado y devoción de mi abuela, por sus palabras de aliento y sabiduría me dio la motivación para continuar. Tú eres mi ejemplo a seguir.

A mis hermanos, que supieron tomarse el tiempo para escucharme y apoyarme, me llenaron de una alegría contagiosa que motivó cada paso.

A mis abuelos paternos, por su amor incondicional, sus enseñanzas y el ejemplo de esfuerzo y dedicación que han guiado mi camino. Este logro es también suyo.

Celia González Cárdenas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la sabiduría, fortaleza y orientación necesaria para lograr este proyecto importante en mi vida.

A toda mi familia, quienes me brindaron su amor incondicional y su apoyo, siendo mi inspiración y mi mayor alegría. Su amor y motivación constante han sido el pilar fundamental para alcanzar mis metas.

Finalmente, a todos los docentes que a lo largo de la etapa universitaria estuvieron guiándome y aportando con su conocimiento, logrando enriquecer la experiencia de conocimiento sobre la carrera en la universidad.

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre, Nieves Encalada, y a mi padre, Jorge Cáceres, y mis hermanos, el apoyo y no rendirme en lograr mis metas, se los debo a ellos. Este logro es de ustedes.

A mi madre, Nieves Encalada Sánchez, nada de esto sería posible sin ti, tus palabras de aliento, tu sacrificio infinito por nosotros, tu sabiduría y compromiso para enfrentar las adversidades, son el fruto de este trabajo. Este logro es especialmente para ti.

A mi abuela materna que, desde el cielo, debe estar orgullosa que su primer nieto está logrando lo que una vez le prometió. Con profundo amor te dedico este trabajo.

A mis abuelos paternos, con mucho amor y profunda gratitud, también son parte de esto.

Jonathan Cáceres Encalada

RESUMEN

Este estudio investiga el comportamiento mecánico de un hormigón tradicional frente a hormigones modificados con adición de ceniza de cáscara de maní en porcentajes del 5%, 10%, y 15% como reemplazo parcial del cemento. El propósito es evaluar la viabilidad de este subproducto agrícola como material sostenible en la construcción, específicamente analizando la resistencia a la compresión a los 7, 14, y 28 días. Se realizaron ensayos físicos y mecánicos en probetas, curadas y sometidas a compresión. Los resultados muestran que la resistencia de diseño del hormigón tradicional es de 210 kg/cm². Las mezclas con un 5% de ceniza presentaron una ligera disminución de resistencia, entre un 2-5%, mientras que con un 10% la reducción fue del 5-8%. Al utilizar un 15% de ceniza, la disminución en la resistencia fue más significativa, alcanzando un 10-15%. Aunque la adición de ceniza de cáscara de maní en bajas proporciones es viable y contribuye a la sostenibilidad, su uso en mayores porcentajes compromete la resistencia mecánica del hormigón, limitando su aplicación en estructuras que requieren alta durabilidad. Este estudio sugiere que la ceniza de cáscara de maní puede ser utilizada en hormigones, pero se recomienda investigar mezclas óptimas para maximizar sus beneficios.

Palabras Clave: Hormigón - Resistencia a la compresión - Materiales de construcción – Sostenibilidad - Residuos agrícolas

ABSTRACT

This study investigates the mechanical behaviour of traditional concrete compared to concrete modified with the addition of peanut shell ash in percentages of 5%, 10%, and 15% as a partial replacement for cement. The purpose is to evaluate the viability of this agricultural by-product as a sustainable material in construction, specifically analysing compressive strength at 7, 14, and 28 days. Physical and mechanical tests were conducted on cured and compressed concrete specimens. The results show that the design strength of traditional concrete is 210 kg/cm². Mixtures with 5% ash presented a slight decrease in strength, between 2-5%, while with 10% the reduction was 5-8%. Using 15% ash, the decrease in strength was more significant, reaching 10-15%. Although the addition of peanut shell ash in low proportions is viable and contributes to sustainability, its use in higher percentages compromises the mechanical strength of the concrete, limiting its application in structures requiring high durability. This study suggests that peanut shell ash can be used in concrete, but further research is recommended to optimize the mixtures to maximize its benefits.

Keywords: Concrete - Compressive strength - Building materials - Sustainability - Agricultural waste

ÍNDICE GENERAL

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I.....	4
ENFOQUE DE LA PROPUESTA	4
1.1. Tema.....	4
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.3. Formulación del Problema	5
1.4. Objetivo General	6
1.5. Objetivos Específicos.....	6
1.6. Hipótesis	6
1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.	6
2. CAPÍTULO II.....	7
MARCO REFERENCIAL	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Marco Teórico	14
2.2.1. El Cemento.....	14
2.2.1.1. Tipos de cemento	15
2.2.2. Hormigón Tradicional	15
2.2.3. Importancia del Hormigón.....	17
2.2.4. Propiedades del Hormigón	18
2.2.4.1. Propiedades del Hormigón Fresco	19
2.2.5. Cascara de Maní	29
2.2.5.1. Origen del Maní en Ecuador.....	30
2.2.5.2. Composición de la Cascara de Maní	31
2.2.5.3. Uso del desecho como material de construcción	32
2.2.5.4. Cenizas de la Cascara de Maní.....	33
2.3. Marco Legal.....	46
2.3.1. Constitución de la República del Ecuador 2008	46
2.3.2. Norma Ecuatoriana de la Construcción	48
3. CAPÍTULO III.....	52

MARCO METODOLÓGICO	52
3.1. Enfoque de la investigación	52
3.2. Alcance de la investigación.....	53
3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos	53
3.3.1. Técnica	53
3.3.2. Instrumentos	53
3.4. Población y muestra	57
3.4.1. Población	57
3.4.2. Muestra.....	57
4. CAPÍTULO IV.....	58
PROPUESTA O INFORME	58
4.1. Presentación y análisis de resultados.....	58
4.1.1. Caracterización de los materiales a emplear en hormigón mediante ensayos físicos.....	58
4.1.2. Determinación de las cantidades de materiales para un hormigón de 210 kg/cm ² convencional y con adición de ceniza de cáscara de maní.	62
4.1.3. Determinación de la resistencia a compresión del hormigón modificado con la ceniza de la cáscara de maní y del hormigón convencional.	64
4.1.3.1. Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional.....	65
4.1.3.2. Resistencia a compresión de probetas de hormigón con adición al 5% de la ceniza de la cáscara de maní.	67
4.1.3.3. Resistencia a compresión de probetas de hormigón con adición al 10% de la ceniza de la cáscara de maní.	68
4.1.3.4. Resistencia a compresión de probetas de hormigón con adición al 15% de la ceniza de la cáscara de maní.	70
4.1.4. Comparación de los resultados de resistencia a compresión de los hormigones ensayados y sus costos.....	73
4.1.4.1. Costos de hormigón.....	74
CONCLUSIONES.....	77
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición de la Cascara de Maní.....	32
Tabla 2 Muestra de probetas.....	57
Tabla 3 Agregado fino	58
Tabla 4 Agregado Grueso	60
Tabla 5 Dosificación hormigón 210Kg/cm ² para un saco de cemento.....	63
Tabla 6 Dosificación hormigón con adición de 5% de ceniza de cáscara de maní para un saco de cemento.....	63
Tabla 7 Dosificación hormigón con adición de 10% de ceniza de cáscara de maní para un saco de cemento.....	64
Tabla 8 Dosificación hormigón con adición de 15% de ceniza de cáscara de maní para un saco de cemento.....	64
Tabla 9 Dimensiones de probetas.....	65
Tabla 10 Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional	66
Tabla 11 Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional con adición al 5% de la ceniza de la cáscara de maní.....	67
Tabla 12 Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional con adición al 10% de la ceniza de la cáscara de maní.....	69
Tabla 13 Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional con adición al 15% de la ceniza de la cáscara de maní.....	71
Tabla 14 Costo m ³ hormigón tradicional.....	74
Tabla 15 Costo m ³ hormigón con adición del 5% de ceniza de cáscara de maní	75
Tabla 16 Costo m ³ hormigón con adición del 10% de ceniza de cáscara de maní	75
Tabla 17 Costo m ³ hormigón con adición del 15% de ceniza de cáscara de maní	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Propiedades del Hormigón Fresco	20
Figura 2	Prensa hidráulica	22
Figura 3	Ensayos Granulométricos	25
Figura 4	Ensayos en laboratorio.....	26
Figura 5	Cascara de Maní	29
Figura 6	Provincias productoras de maní	30
Figura 7	Cenizas de la Cascara de Maní	37
Figura 8	Propiedades de la ceniza de cascara de maní.....	41
Figura 9	Agregado fino	59
Figura 10	Agregado grueso.....	61
Figura 11	Cemento HOLCIM Fuerte	61
Figura 12	Resistencia promedio de los ensayos a compresión	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado del Laboratorio de Suelos y Materiales Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli	90
Anexo 2 Ensayo granulométrico del agregado fino	91
Anexo 3 Ensayo granulométrico del agregado grueso	92
Anexo 4 Secado de la arena	93
Anexo 5 Ensayos granulométricos	94
Anexo 6 Ensayo granulométrico de arena unificada obtenido de la cantera Calizas Huayco	96
Anexo 7 Ensayo granulométrico de piedra #56 obtenido de la cantera Calizas Huayco	97
Anexo 8 Mezcla para la fabricación de probetas	98
Anexo 9 Maquinas ensayo a comprensión	99
Anexo 10 Fabricación de probetas	100

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción, la búsqueda constante de soluciones más sostenibles y eficientes ha impulsado el desarrollo de nuevos tipos de hormigón que no solo mejoran las propiedades mecánicas, sino que también reducen el impacto ambiental en comparación con los materiales tradicionales. Este enfoque responde a la necesidad creciente de la industria de la construcción de alinearse con los objetivos de sostenibilidad global, reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y minimizar la explotación de recursos no renovables. Una de las alternativas emergentes más prometedoras es la incorporación de adiciones minerales en las mezclas de hormigón, las cuales pueden ser subproductos industriales o agrícolas que actúan como materiales puzolánicos y mejoran el rendimiento del hormigón.

Entre estas adiciones, la ceniza de cáscara de maní (CCM) ha despertado un interés significativo en los últimos años como un subproducto agrícola derivado de la industria alimentaria. Las cáscaras de maní, que son generadas en grandes cantidades durante el procesamiento de este cultivo, a menudo se consideran residuos sin valor agregado y se eliminan de manera ineficiente, lo que genera problemas ambientales. Sin embargo, cuando se queman a temperaturas controladas, estas cáscaras producen una ceniza rica en sílice amorfa, que ofrece beneficios potenciales cuando se utiliza como reemplazo parcial del cemento en el hormigón.

Este material no solo contribuye a la reducción de desechos orgánicos, sino que también puede mejorar significativamente las propiedades del hormigón, como su resistencia mecánica, durabilidad y trabajabilidad, debido a su capacidad para actuar como un material puzolánico que reacciona con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento.

La incorporación de CCM como aditivo en el hormigón no solo aporta una solución al problema de los residuos agrícolas, sino que también reduce la dependencia de los materiales convencionales como el cemento Portland, cuya producción es altamente intensiva en energía y emite grandes cantidades de CO₂. En este sentido, el uso de ceniza de cáscara de maní promueve un enfoque más ecológico en la construcción, alineándose con los principios de la economía circular al reutilizar un subproducto agrícola que de otro modo sería desperdiciado. Además, se

han observado mejoras en la durabilidad del hormigón, como una mayor resistencia a la penetración de cloruros y una reducción de la reacción álcali-sílice, lo que amplía su aplicabilidad en ambientes agresivos.

El presente estudio se enfoca en comparar el rendimiento mecánico del hormigón tradicional con aquel que contiene adiciones de ceniza de cáscara de maní. Se realizará un análisis detallado de la resistencia a la compresión, que es uno de los parámetros más críticos para evaluar la calidad del hormigón, así como de otras propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión, la trabajabilidad y la durabilidad, para evaluar las mejoras potenciales o posibles limitaciones que esta innovación podría presentar.

Además, este estudio abordará aspectos como la variabilidad en la composición química de la ceniza de cáscara de maní y su impacto en el comportamiento del hormigón, proporcionando datos empíricos que pueden servir como referencia para futuras investigaciones y aplicaciones en la industria de la construcción. Se espera que este análisis no solo expanda el conocimiento sobre las características físicas y mecánicas de estos hormigones modificados, sino que también proporcione una visión integral de su viabilidad como una alternativa más sostenible y eficiente en diversas aplicaciones de la construcción.

Al considerar la importancia de adoptar prácticas de construcción más sostenibles, los resultados de este estudio podrían contribuir a la adopción de políticas más ecológicas y al desarrollo de normativas que promuevan el uso de materiales alternativos como la ceniza de cáscara de maní en la construcción de infraestructuras. Esta investigación no solo busca mejorar la comprensión del comportamiento de los hormigones con adiciones puzolánicas, sino también fomentar una transición hacia una economía de bajo carbono en el sector de la construcción, abordando los desafíos ambientales y económicos de manera innovadora y efectiva.

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

En el segundo capítulo, se desarrollará el marco referencial, donde se presentarán los antecedentes, el marco conceptual y el marco legal, proporcionando una base sólida para el análisis.

En el capítulo 3, se detallarán los aspectos relacionados con el marco metodológico, incluyendo el enfoque de la investigación, su alcance, las técnicas e instrumentos para recopilar datos, y proporcionar una descripción de la población y muestra.

Finalmente, en el último capítulo, se procederá a la presentación y análisis de los resultados obtenidos, lo que permitirá la formulación de conclusiones y recomendaciones. Este estudio busca no solo aportar al conocimiento académico, sino también ofrecer soluciones prácticas para un futuro más sostenible en la industria de la construcción.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1. Tema:

Análisis mecánico entre un hormigón tradicional y hormigón con adición de ceniza de cascara de maní.

1.2. Planteamiento del Problema:

La industria de la construcción enfrenta uno de sus mayores desafíos ambientales: la reducción de las elevadas emisiones de dióxido de carbono (CO_2) asociadas con la producción de cemento, un componente esencial en la fabricación del hormigón. El proceso de producción de cemento no solo es altamente intensivo en energía, sino que también es responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO_2 , contribuyendo significativamente al cambio climático. Esta situación ha impulsado la búsqueda de materiales alternativos y sostenibles que puedan reemplazar parcialmente el cemento en el hormigón, sin comprometer sus propiedades estructurales y funcionales.

En este contexto, la ceniza de cáscara de maní emerge como una alternativa potencial. Este subproducto agrícola es abundante en muchas regiones, incluyendo nuestro país, donde el cultivo de maní genera grandes cantidades de cáscaras que, en su mayoría, se consideran residuos sin valor agregado. Al quemarse bajo condiciones controladas, estas cáscaras producen una ceniza rica en sílice amorfa, lo que le confiere propiedades puzolánicas. Esto sugiere que la ceniza de cáscara de maní podría ser utilizada como un sustituto parcial del cemento en el hormigón, reduciendo así las emisiones de CO_2 asociadas con su producción.

No obstante, la problemática central radica en que, aunque la incorporación de ceniza de cáscara de maní tiene el potencial de disminuir el impacto ambiental del hormigón, su impacto en las propiedades mecánicas y de durabilidad del material debe ser rigurosamente evaluado antes de su adopción en aplicaciones constructivas. El éxito de esta innovación depende de asegurar que la ceniza de cáscara de maní no solo mantenga, sino que potencialmente mejore, las características críticas del

hormigón, como su resistencia a la compresión, trabajabilidad, y durabilidad frente a agentes agresivos.

A nivel mundial, la problemática de la sostenibilidad en la producción de cemento ha llevado a estudios sobre el uso de materiales suplementarios en el hormigón, destacándose en India y China por mejorar la resistencia y reducir la huella de carbono. El Grupo Holcim España, consciente de esta necesidad, desarrolló ECOPact, una gama de hormigones que reduce hasta en un 70% las emisiones de CO₂ en comparación con los hormigones convencionales. (Mimbrero, 2023)

Dado que el 40% de la energía total en España se consume en la industria de la construcción, es crucial optimizar recursos y minimizar emisiones ante la crisis energética y el cambio climático. (Mimbrero, 2023)

En América Latina, varios países empezaron a investigar el uso de residuos agrícolas y subproductos industriales en la construcción. En Perú, por ejemplo, se evaluó la incorporación de ceniza de cáscara de arroz en el hormigón, obteniendo resultados prometedores en cuanto a resistencia a la compresión y reducción de costos. Estas iniciativas reflejaron un creciente interés en la región por desarrollar soluciones que combinan sostenibilidad y eficiencia en la construcción. (Álvarez y Orado, 2023)

En Ecuador, estudios recientes evidenciaron la necesidad de reducir el impacto ambiental asociado a la producción de cemento. Así lo mencionan los autores Heras y Paredes (2022), sobre la ceniza de cáscara de maní, que, al ser un residuo abundante, se consideró como una alternativa viable para mejorar las propiedades del hormigón y disminuir las emisiones de CO₂ relacionadas con su producción. Sin embargo, no se había realizado un análisis exhaustivo de su impacto en las propiedades mecánicas del hormigón, lo que justificó la realización de esta investigación.

1.3. Formulación del Problema:

¿De qué forma influye la adición de la ceniza de la cascara de maní a la mezcla del hormigón tradicional?

1.4. Objetivo General

Analizar el comportamiento a nivel mecánico de un hormigón tradicional y uno con ceniza de cascara de maní para la mejor de su desempeño.

1.5. Objetivos Específicos

- Caracterizar los materiales a emplear en hormigón mediante ensayos físicos.
- Determinar las cantidades de materiales para un hormigón de 210 kg/cm² convencional y con adición de ceniza de cáscara de maní mediante guías de diseño.
- Calcular la resistencia a compresión del hormigón modificado con la ceniza de la cáscara de maní y del hormigón convencional.
- Comparar los resultados de resistencia a compresión de los hormigones ensayados y sus costos.

1.6. Hipótesis

Con la adición de la ceniza de la cáscara del maní incrementará la resistencia de hormigón.

1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Territorio, medio ambiente e innovadores materiales para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

La industria cementera representa una fuente significativa de emisiones de CO₂ a nivel global, debido al alto consumo de materias primas y energía durante su fabricación. Dado que el cemento es fundamental para el sector de la construcción, es crucial comprender el impacto ambiental de su producción en Ecuador para obtener datos específicos del contexto local.

Este estudio ha permitido evaluar la energía incorporada y las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de cemento, utilizando metodologías de Análisis del Ciclo de Vida y las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. (Vélez, 2017)

El estudio analiza la producción de una tonelada de cemento utilizando un enfoque de puerta a puerta, mediante la recolección de datos de una planta cementera durante un año de producción. Los resultados indican que la producción de cemento consume 3.191,64 MJ de energía y produce 510,54 kg de CO₂. El mayor consumo de energía y las mayores emisiones se observan durante el proceso de fabricación del clínker, que representa el 92,73% de las emisiones totales del sistema. (Vélez, 2017)

Arbeláez et al., (2023), evaluó el impacto del uso de ceniza de bagazo de caña y residuos de vidrio como sustitutos parciales del concreto en la preparación de hormigón ambientalmente amigable. En este estudio experimental, se caracterizaron los agregados finos y gruesos, y se prepararon mezclas de hormigón con un reemplazo del 20% del cemento por ceniza de bagazo de caña y residuos de vidrio en diferentes proporciones. Se midieron propiedades como la resistencia a la compresión, el asentamiento y la densidad del hormigón. Los resultados mostraron que la inclusión de estos residuos mejora la resistencia a la compresión y reduce el asentamiento sin afectar significativamente la densidad del hormigón. Se concluye que se añade la ceniza de bagazo de caña y residuos de vidrio puede ser una

estrategia viable para mitigar el impacto ambiental de la industria del cemento, aprovechando residuos industriales y agrícolas en la producción de hormigón.

Vanegas y Orrego (2023), tuvo como finalidad evaluar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón modificado con residuos de aislantes eléctricos cerámicos, sustituyendo el 5%, 10% y 15% de los agregados finos y el cemento. En un estudio experimental, se fabricaron y ensayaron 21 especímenes de hormigón. Los resultados mostraron que los residuos cerámicos mejoran la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto, siendo el reemplazo del 10% el más adecuado. Además, estos residuos aumentan la trabajabilidad del hormigón y reducen el consumo de recursos naturales, lo que contribuye a la sostenibilidad y a la reducción de emisiones de CO₂ en la fabricación de cemento. Por último, la reutilización de residuos cerámicos en el hormigón es una estrategia viable que mitiga el impacto ambiental y mejora las propiedades del hormigón.

Pinzón (2022), empleó el vidrio molido como sustituto parcial del cemento en mezclas de concreto, con el objetivo de mejorar la sostenibilidad del material. Se realizaron ensayos de laboratorio en mezclas de concreto con diferentes porcentajes de vidrio molido, comparando su resistencia a la compresión y a la flexión. Los resultados mostraron que una adición del 15% de vidrio molido logró una resistencia cercana a los 2700 PSI para mezclas de 2500 PSI y 3000 PSI, mientras que, para resistencias superiores, como 3500 PSI y 4000 PSI, también se alcanzaron resultados aceptables con la misma proporción. Se concluyó que el vidrio molido puede ser una alternativa efectiva y reciclable para mejorar ciertas aplicaciones del concreto, aunque con algunas limitaciones en la resistencia final comparada con mezclas tradicionales.

Ponce y Ricardo (2023), compararon el rendimiento del hormigón con fibra de celulosa de papel reciclado y el hormigón con ceniza de caña de azúcar para la construcción de pisos en viviendas ecológicas en Santa Elena. Se empleó un enfoque cuantitativo con diseño experimental para analizar mezclas de hormigón usando fibras de celulosa y ceniza de caña de azúcar en concentraciones del 5% y 10% como sustitutos parciales del cemento, conforme a la norma ACI 211.1. Se prepararon y analizaron cinco mezclas, evaluando la resistencia a compresión y flexión a los 3, 7, 14 y 28 días. La población consistió en 80 probetas cilíndricas de hormigón, y los resultados mostraron que el hormigón con ceniza de caña de azúcar alcanzó o superó

una resistencia de 210 kg/cm², evidenciando un mejor desempeño comparado con el hormigón con fibra de celulosa. La metodología incluyó pruebas de granulometría, evaluación del desempeño del hormigón y análisis comparativo de las resistencias obtenidas, sugiriendo que el hormigón con ceniza de caña de azúcar fue más adecuado para aplicaciones en pisos de viviendas eco amigables.

Díaz (2019), evaluó el comportamiento mecánico de hormigón hidráulico utilizando ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto del árido fino. Se recolectaron muestras de CBCA del ingenio azucarero Tababuela en Imbabura y se compararon con hormigón tradicional. Utilizando una metodología analítica y cuantitativa, se realizaron ensayos en laboratorio con cemento portland compuesto tipo 1, sustituyendo el árido fino por CBCA en porcentajes del 5% y 10%. Los resultados mostraron que esta sustitución no fue beneficiosa, ya que las resistencias obtenidas a los 4, 7 y 14 días fueron menores en comparación con el hormigón convencional. En conclusión, la utilización de CBCA como sustituto parcial del árido fino no demostró ser viable, ya que las resistencias mecánicas disminuyeron y no se lograron resultados óptimos en las probetas evaluadas.

Cantos y Cárdenas (2021), compararon las características constructivas del mortero nuevo hecho a base de residuo de cáscara de maní y fibra de polipropileno con el tradicional. En un estudio experimental con un enfoque cuantitativo, se manipuló la cantidad de estos materiales en el mortero para evaluar su impacto mediante pruebas de fluidez, adherencia y resistencia a la compresión. Se realizaron 180 mezclas de mortero y se analizaron probetas a los 7, 14 y 28 días, utilizando instrumentos como prensa hidráulica y equipos de laboratorio. Los resultados mostraron que el mortero con ceniza de cáscara de maní y fibra de polipropileno alcanzó una resistencia a la compresión comparable al mortero convencional, aunque con una menor adherencia. La muestra con 35% de ceniza de corteza de maní logró una resistencia de 132.86 kg/cm², cercana a la del mortero tradicional con 138.66 kg/cm², cumpliendo con las normativas vigentes para morteros. Concluyendo, aunque el mortero modificado no superó en todas las características al convencional, sí presentó un comportamiento aceptable dentro de los estándares requeridos.

Intriago y Quiroz (2022), analizaron las propiedades mecánicas del hormigón con ceniza volcánica y la fibra de vidrio. Se formularon hipótesis y se identificaron

variables utilizando un enfoque cuantitativo. Se determinaron las dosificaciones óptimas utilizando cemento HOLCIM tipo HE, incorporando ceniza volcánica al 4%, 10%, y 20%, y fibra de vidrio al 1%. El hormigón con 10% de ceniza volcánica y 1% de fibra de vidrio alcanzó una resistencia de 239.44 kg/cm² a los 28 días, superior al hormigón tradicional, según ensayos de resistencia a la compresión realizados a los 7, 14 y 28 días. Las técnicas y materiales utilizados incluyeron ceniza volcánica del Volcán Chimborazo y fibra de vidrio de Guayaquil. Las conclusiones indicaron que la mezcla de hormigón con estos aditivos mejora la resistencia a la compresión y la propagación de grietas, aunque su implementación es un 57% más costosa. En resumen, las combinaciones con ceniza volcánica y fibra de vidrio resultaron en hormigones con mayor resistencia a los 14 y 28 días, mientras que las resistencias a los 7 días no fueron adecuadas debido al corto tiempo de fraguado.

Heras y Paredes (2022), elaboraron un bloque utilizando materiales reciclados como ceniza de cáscara de maní y concha de manglar, reemplazando en diferentes porcentajes el agregado grueso en la mezcla de hormigón para mejorar la resistencia y aprovechar desechos contaminantes. Enfoque cuantitativo se empleó para combinar distintas cantidades de estos materiales y preparar la mezcla de hormigón, con cálculos matemáticos y ensayos de compresión utilizando prensa hidráulica y balanzas. Los resultados mostraron que el bloque BCM III al 20% alcanzó una resistencia de carga de 11262.38 kg a los 14 días y 13062 kg a los 28 días, cumpliendo con la normativa INEN 3066 y siendo apto para mampostería en edificaciones. Con la adición de concha de manglar y ceniza de cáscara de maní, los bloques fabricados lograron la dosificación perfecta y la resistencia requerida, avalada por el laboratorio de suelos y hormigón "Arnaldo Ruffilly" de la Universidad Estatal de Guayaquil.

Bajaña (2022), determinó la resistencia y adherencia del mortero utilizando ceniza volcánica y hormigón reciclado. Se realizó un estudio experimental en laboratorio con ensayos de dosificación, resistencia, adherencia y fluidez, comparando las mezclas de mortero con estos materiales frente a un mortero tradicional. Los resultados indicaron que el mortero con hormigón reciclado presentó una mayor densidad (2.380 kg/m³) y resistencia a la compresión (120.50 kg/cm²) en comparación con el mortero con ceniza volcánica, que tuvo una densidad de 2.053 kg/m³ y una resistencia de 106.76 kg/cm². El mortero con hormigón reciclado también cumplió con

la norma ASTM C 136, mientras que el mortero con ceniza volcánica no. Se concluyó que el hormigón reciclado ofreció mejores características técnicas y superó al mortero con ceniza volcánica, desafiando la hipótesis inicial.

Lara y Mejía (2022), diseñaron un prototipo de bloque para paredes en edificaciones, utilizando viruta de madera, fibra de plástico de sorbete reciclado y ceniza volcánica, con un enfoque cuantitativo para determinar los porcentajes adecuados de estos materiales. Se llevaron a cabo ensayos exploratorios y experimentales en laboratorio para medir la resistencia y absorción del bloque. La muestra consistió en 12 bloques, y los instrumentos utilizados incluyeron moldes, balanzas y una prensa hidráulica. Al analizar las características técnicas de los materiales, se determinó que la viruta de madera, aunque innovadora, es orgánica y se descompone con el tiempo, por lo que se recomendó usarla en proporciones pequeñas. La fibra de plástico de sorbete, siendo de bajo peso unitario y con baja adherencia, también se sugirió utilizarla en cantidades limitadas. La ceniza volcánica mostró baja plasticidad y mejoró el comportamiento de las mezclas para los bloques. Finalmente, se estableció la dosificación adecuada de los materiales para la fabricación del bloque, concluyendo que estos materiales innovadores pueden ser utilizados efectivamente en la construcción de bloques, con ajustes necesarios en sus proporciones para garantizar la durabilidad y resistencia del producto final.

Paucar y Vera (2022), diseñaron un modelo de bloque aligerado usando arena volcánica, policarbonato y cenizas de bagazo de caña de azúcar como agregados, manteniendo la resistencia según las especificaciones INEN. Enfoque cuantitativo permitió determinar porcentajes de estos materiales y medir los resultados mediante ensayos en laboratorio. La investigación, de tipo exploratorio, manipuló estos elementos para elaborar bloques de hormigón y evaluar su resistencia. Se utilizaron técnicas de ensayo de laboratorio y se emplearon moldes de bloque, balanzas y una prensa hidráulica. La población del estudio incluyó bloques tradicionales utilizados en diversas construcciones en Ecuador. Se fabricaron y probaron 12 bloques con diferentes dosificaciones, comparándolos con un bloque aligerado tradicional de 12.4 kg para evaluar peso y resistencia. El método tradicional de mezcla y moldeo de bloques se siguió, incluyendo ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días. Concluyeron que la adición de arena volcánica, policarbonato y residuo de bagazo de

caña en diversas proporciones logró un bloque aligerado con una resistencia promedio de 1.8 MPA a los 28 días, cumpliendo con la norma INEN 3066. Además, el bloque modificado redujo su peso y mantuvo la resistencia necesaria, confirmando la hipótesis de que es posible crear bloques más livianos sin comprometer su resistencia estructural.

Carpio y Villon (2023), diseñaron un bloque estructural modificado utilizando ceniza de hoja de plátano y fibra del tallo de la planta de plátano, evaluando su resistencia a través de operaciones numéricas cuantitativas. El alcance fue exploratorio, probando distintas proporciones de estos materiales en bloques tradicionales para determinar su resistencia. Los métodos incluyeron diseños de hormigón, elaboración de bloques, y ensayos de resistencia en el laboratorio, utilizando instrumentos como balanzas, bandejas, moldes de bloque y una prensa hidráulica. La población de estudio fueron bloques tradicionales de construcción, y la muestra consistió en nueve bloques estructurales modificados con diferentes cantidades de ceniza de hoja de plátano y fibra del tallo. Los ensayos de compresión realizados a los 7, 14 y 28 días mostraron que la muestra con un 5% de ceniza y fibra tenía mayor resistencia que las muestras con 10% y 15%, alcanzando 2 MPa a los 28 días. Concluyeron que la dosificación adecuada para el bloque modificado incluye un 5% de los materiales propuestos, logrando una resistencia en la categoría C según la tabla INEN 3066, y que el uso de estos desechos orgánicos puede reducir el costo al disminuir la cantidad de arena y piedra necesarias.

Ron (2023), realizó el análisis comparativo de hormigones diseñados con diferentes agregados alternativos, frente al hormigón tradicional compuesto por cemento, arena, piedra y agua. Se seleccionaron ocho proyectos de titulación de estudiantes de ingeniería civil disponibles en el repositorio digital de la ULVR para realizar un análisis documental. La investigación descriptiva se llevó a cabo mediante un estudio documental para evaluar la viabilidad y efectividad de los agregados alternativos en la sustitución de los convencionales. Se utilizaron agregados alternativos y convencionales para analizar las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los elementos de hormigón, y se creó una ficha técnica para evaluar el cumplimiento de los parámetros establecidos. La investigación se clasifica como

documental y descriptiva, con un enfoque analítico para determinar el desempeño de los materiales estudiados.

Aguilar y Torres (2024), investigaron y desarrollaron bloques de mampostería mediante la integración de fibras de bagazo de caña de azúcar y tela de algodón reciclada, con el objetivo de ofrecer una alternativa sostenible a los materiales convencionales y reducir el impacto ambiental. Utilizando un enfoque cuantitativo, se calculó el porcentaje de cada material y se realizaron análisis físicos y mecánicos de los bloques en laboratorios para evaluar su resistencia y durabilidad. La investigación, de carácter descriptivo, analizó las características de los bloques fabricados con estas fibras alternativas en comparación con los bloques convencionales. Se emplearon técnicas de observación y medición con cintas métricas y pruebas mecánicas para cuantificar la resistencia de los bloques. La muestra consistió en prototipos elaborados a partir de diferentes mezclas de bagazo y fibras de algodón, evaluando cada mezcla para determinar la combinación óptima. Los resultados mostraron que los bloques con fibras presentaron mayor resistencia y estabilidad, superando a los bloques convencionales en términos de humedad y absorción. Además, se concluyó que las fibras de algodón recicladas y el bagazo de caña de azúcar contribuyen positivamente al medio ambiente al reducir las emisiones de CO₂ y la acumulación de residuos, ofreciendo una solución efectiva y sostenible para la construcción.

Caicedo (2024), abordó el problema de los desechos de cáscara de cacao en la industria alimenticia y sugirió reutilizarlos en la construcción agregando ceniza de cáscara de cacao a la mezcla de hormigón para paneles modificados. El objetivo principal fue reducir el impacto de estos desechos en el medio ambiente y promover prácticas de construcción sostenibles. A través de un enfoque mixto, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para evaluar la resistencia, durabilidad y propiedades térmicas de los paneles modificados. Los resultados demostraron que la ceniza de cáscara de cacao mejoró significativamente las propiedades del hormigón, proporcionando paneles con características mejoradas y un menor impacto ambiental. Además, se descubrieron otros beneficios, como el apoyo a prácticas de construcción más sostenibles. Por último, pero no menos importante, el uso de ceniza de cáscara de cacao en la construcción de paneles de hormigón se presentó como una alternativa viable y prometedora. Tiene el potencial de reducir significativamente los problemas

ambientales y impulsar el crecimiento de una industria de la construcción más sostenible y eficiente.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. El Cemento

El cemento es uno de los materiales más importantes y ampliamente utilizados en la industria de la construcción debido a su capacidad para actuar como un conglomerante hidráulico. Esta propiedad se debe a las reacciones químicas que ocurren cuando los minerales del cemento entran en contacto con el agua, un proceso conocido como hidratación.

Durante la hidratación, los compuestos del cemento reaccionan con el agua para formar una masa sólida que actúa como un aglutinante para los agregados en el hormigón, proporcionando cohesión, resistencia y durabilidad.

Los diferentes tipos de cementos se obtienen mediante un proceso complejo que involucra varias etapas. El proceso de producción del cemento comienza con la calcinación de mezclas de arcillas y calizas en un horno rotatorio a temperaturas extremadamente altas, que oscilan entre los 1400°C y 1500°C. Durante esta etapa, la piedra caliza (carbonato de calcio, CaCO_3) se descompone en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO_2).

Este proceso de descarbonatación es altamente energético y constituye la mayor fuente de emisiones de CO_2 en la producción de cemento. Simultáneamente, las arcillas, que contienen sílice, alúmina y óxidos de hierro, reaccionan con el óxido de calcio para formar fases minerales como el alita (C_3S), belita (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A), y ferritoaluminato tetracálcico (C_4AF), que son los principales componentes del clínker, el producto intermedio esencial en la fabricación del cemento. (Román, 2019)

Una vez que el clínker se ha enfriado, se somete a un proceso de molienda donde se reduce a un polvo fino. Durante esta etapa, se añade yeso (sulfato de calcio dihidrato, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en proporciones controladas para regular el tiempo de fraguado del cemento. Este yeso evita que el cemento fragüe demasiado rápido al

retrasar la reacción del aluminato tricálcico (C_3A) con el agua. Además, durante la molienda del clínker, se pueden incorporar diferentes aditivos y materiales suplementarios como filler calizo, humo de sílice, cenizas volantes, escorias de alto horno, puzolanas naturales y otros materiales puzolánicos. Estos materiales no solo mejoran las propiedades del cemento, como su resistencia y durabilidad, sino que también pueden reducir la huella de carbono del cemento al disminuir la cantidad de clínker requerida.

El cemento posee propiedades únicas que lo convierten en un conglomerante ideal para la construcción. El proceso de hidratación es fundamental para el desarrollo de estas propiedades. Cuando el cemento se mezcla con agua, comienza a formar productos de hidratación como el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H), que es el principal responsable de la resistencia mecánica del cemento. Otros productos de hidratación incluyen el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) y la etringita, que también contribuyen a las propiedades de fraguado y endurecimiento del material. El fraguado del cemento es el proceso por el cual la mezcla pasa de un estado plástico a un estado sólido, generalmente entre 30 minutos y 10 horas, dependiendo del tipo de cemento y las condiciones ambientales. (Román, 2019)

2.2.1.1. Tipos de cemento

El cemento que fragua y endurece por reacción química con agua se conoce como cemento hidráulico. Además, puede permanecer bajo agua. Por el contrario, los cementos portland se obtienen mediante pulverización de clínker y suelen contener uno o más de los siguientes ingredientes: sulfato de calcio, hasta el 5% de piedra caliza y agregados de proceso (NTE INEN 151). (Morán, 2021)

La norma NTE INEN 152 detalla las características y requisitos que deben cumplir los cementos portland. Por su parte, la NTE INEN 2380 clasifica los cementos hidráulicos basándose en sus propiedades específicas, sin imponer restricciones sobre su composición o la de sus componentes, y define los criterios de desempeño que deben cumplir. Mencionan los autores Álvarez-Cedeño et al., (2023), La norma establece seis categorías de cemento:

- Tipo GU: Para usos generales en construcción.
- Tipo HE: Con alta resistencia inicial.
- Tipo MS: Con resistencia moderada a los sulfatos.
- Tipo HS: Con alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: Con moderado calor de hidratación.
- Tipo LH: Con bajo calor de hidratación.

Además, la norma específica que, en ausencia de una indicación particular, se debe utilizar el cemento Tipo GU. Holcim Ecuador produce una variedad de tipos de cemento conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 (equivalente a la ASTM C 1157), siendo el cemento hidráulico Holcim Fuerte Tipo GU el más común. Este cemento está compuesto por clínker de cemento Portland, sulfato de calcio y una o más puzolanas naturales. Los cementos adicionados según la NTE INEN 2380 tienen un impacto ambiental reducido y pueden disminuir las emisiones de CO₂ hasta en un 35% en comparación con los cementos Portland.

Hormigón Tradicional

Es una sustancia que se utiliza en la construcción. La mezcla de cal o cemento con grava, arena y agua hace que el hormigón se endurezca y sea más resistente cuando se seca y fragua. El concreto, también conocido como hormigón, es una mezcla de agua, agregados (como la arena y la grava) y un aglomerante (el cemento). Para alterar sus atributos, a veces también se utilizan varios aditivos. (Robayo, 2022)

El derrocamiento de infraestructuras inservibles por otras totalmente funcionales ha provocado una gran cantidad de residuos y desperdicios. En varios países europeos, el reciclaje del hormigón ha ayudado a disminuir los costos de fabricación y a disminuir el impacto ambiental. Por esta razón, el hormigón es uno de los materiales de mayor producción y uso en obras civiles. (Mendoza & Chávez, 2017)

2.2.2. Importancia del Hormigón

En la actualidad, el hormigón es el material de construcción más utilizado a nivel mundial debido a su versatilidad, durabilidad y capacidad para soportar grandes cargas. Este material se emplea en una amplia variedad de estructuras, desde viviendas y edificios comerciales hasta infraestructuras como puentes, carreteras y presas. Su popularidad radica en la combinación de bajo costo, disponibilidad de materias primas, y su facilidad para ser moldeado en diferentes formas, lo que permite una gran flexibilidad en el diseño y construcción.

Sin embargo, la calidad y el rendimiento del hormigón dependen en gran medida de diversos factores, entre los cuales destacan la calidad de sus componentes, el profesionalismo del ingeniero encargado, la puesta en obra, y un riguroso control de calidad en todas las etapas del proceso de construcción.

La calidad final del hormigón es un reflejo directo de la calidad de sus componentes: el cemento, los agregados (arena y grava), el agua y los aditivos. Cada uno de estos materiales debe cumplir con especificaciones técnicas precisas para asegurar que el hormigón resultante tenga las propiedades mecánicas y de durabilidad necesarias para su aplicación específica.

Por ejemplo, el tamaño, forma y textura de los agregados afectan la trabajabilidad y la resistencia del hormigón. El agua debe ser de calidad potable, libre de impurezas que puedan interferir con el fraguado y la hidratación del cemento. Los aditivos, por su parte, se utilizan para modificar ciertas propiedades del hormigón, como su tiempo de fraguado, durabilidad, o resistencia a condiciones ambientales agresivas.

Además de la calidad de los materiales, el profesionalismo del ingeniero encargado del proyecto de construcción es crucial. Un ingeniero con experiencia y conocimientos sólidos en el comportamiento del hormigón puede optimizar las mezclas, ajustar las proporciones de los componentes y supervisar adecuadamente el proceso de mezclado, transporte, colocación y curado del hormigón. Un manejo inadecuado en cualquiera de estas etapas puede llevar a una pérdida significativa de calidad, como segregación, sangrado excesivo o una resistencia reducida. Por tanto,

el ingeniero desempeña un papel esencial en la garantía de que las especificaciones del diseño sean correctamente implementadas en el campo.

La puesta en obra es otro factor crítico que influye en la calidad del hormigón. Incluye todas las actividades relacionadas con la mezcla, transporte, vertido, compactación y curado del hormigón en el sitio de construcción. Cada una de estas etapas debe ejecutarse con precisión para evitar problemas como vacíos en el hormigón, falta de homogeneidad, o fisuras prematuras.

Por ejemplo, un curado adecuado es esencial para asegurar la correcta hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia a lo largo del tiempo. Un curado inadecuado puede llevar a una superficie del hormigón más débil, propensa a la abrasión y la penetración de sustancias agresivas.

El control de calidad es un aspecto esencial en todas las fases de la producción y uso del hormigón. Este control debe incluir la inspección y pruebas de materiales antes de su uso, el monitoreo de las condiciones ambientales durante el vertido y el fraguado, y la realización de pruebas mecánicas, como la resistencia a la compresión, en muestras representativas del hormigón colocado. Los ensayos de calidad permiten identificar y corregir problemas antes de que comprometan la integridad estructural del proyecto. (Cobos, 2021)

2.2.3. Propiedades del Hormigón

La durabilidad del hormigón en una estructura se refiere a su capacidad para resistir los efectos del entorno. Estos efectos ambientales pueden incluir factores que, además de las cargas diseñadas, pueden provocar la degradación de la estructura. La estructura puede perder su capacidad funcional, ya sea parcial o completamente, dependiendo de la gravedad y velocidad de dicha degradación.

Desde la fase de diseño, es esencial tener en cuenta estos factores ambientales. Por razones de durabilidad, es recomendable que la calidad del hormigón utilizado para resistir estos efectos sea igual o superior a la especificada. (Olivera et al., 2022)

La durabilidad está vinculada a la vida útil en servicio de una estructura, que es el tiempo durante el cual la estructura debe mantener sus condiciones de seguridad,

funcionalidad, aptitud y apariencia aceptable, sin requerir gastos significativos en mantenimiento.

En términos prácticos, el hormigón tiene dos estados principales: uno fresco o plástico, que permanece durante todo el período de instalación y transporte, y en el que se puede manipular para encajar en el encofrado, y otro endurecido, en el que alcanza una rigidez tal que no se puede manipular sin fisuras evidentes y se convierte en un elemento sólido que aumenta su resistencia con el tiempo de fraguado.

Una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en proporciones iguales con una mezcla adecuada es el hormigón fresco. Esto muestra cualidades importantes como uniformidad, flexibilidad, trabajabilidad y consistencia. La finura, la cantidad de cemento y los agregados son factores que determinan la docilidad. (Salinas et al., 2023)

La calidad del hormigón aumenta con la cantidad de hormigón. La trabajabilidad del hormigón mejora gracias a la cantidad de agua. La plasticidad del hormigón aumenta con el agua, pero su resistencia y durabilidad disminuyen cuando es menos compacto. El hormigón, tras el vertido, pasa de un estado fresco a un estado endurecido, perdiendo gradualmente la humedad y aumentando su dureza.

El fraguado es un proceso físico y químico extenso que, a medida que el hormigón experimenta este proceso gradual de endurecimiento, lo convierte en un material sólido. (León y Rodríguez, 2022)

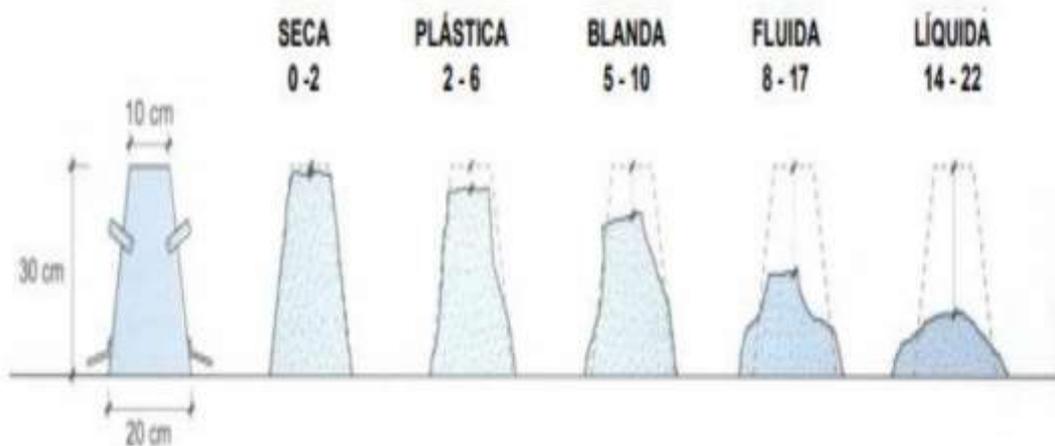
2.2.3.1. Propiedades del Hormigón Fresco

El hormigón resultante del amasado de sus componentes es el resultado inmediato. Sus propiedades como material endurecido están determinadas por reacciones químicas que se están produciendo en su masa desde el principio. Reacciones que se extienden significativamente hasta un año después de su amasado. El hormigón fresco es una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que, si está bien amasado, se distribuyen en igual proporción. (Salinas et al., 2023)

Describe la autora Robayo (2022), que las propiedades fundamentales de este estado del hormigón son las siguientes:

- La medida de la facilidad con que un hormigón se deforma se basa en su consistencia. Una manera de determinar la consistencia del hormigón es medir el asentamiento de la mezcla utilizando el cono de Abrams INEN 1578 (ASTM C 143).
- La consistencia puede ser fluida o muy seca; las mezclas muy fluidas, que llamaremos viscosas, no se separan fácilmente; las mezclas poco cohesivas tienen una gran tendencia a segregarse.
- El hormigón se vuelve más barato al aumentar la cantidad de mortero utilizado. La docilidad del hormigón se ve afectada por agregados alargados y con aristas.

Figura 1
Propiedades del Hormigón Fresco



Fuente: Robayo (2022)

La Figura 1 muestra las propiedades del hormigón fresco mediante la medición de su consistencia o asentamiento, utilizando el cono de Abrams. La consistencia del hormigón se clasifica en cinco categorías según el rango de asentamiento en centímetros: seca (0-2 cm), plástica (2-6 cm), blanda (5-10 cm), fluida (8-17 cm), y líquida (14-22 cm).

Estas categorías indican la facilidad con la que el hormigón puede deformarse y fluir, desde un estado seco y rígido hasta uno líquido y altamente fluido. El asentamiento del hormigón se mide después de que se retira el cono, permitiendo que el material se asiente bajo su propio peso, y refleja la trabajabilidad y la aptitud del hormigón fresco para su colocación en obra.

2.2.4.2. Propiedades del Hormigón Endurecido

El hormigón endurecido, una vez que ha fraguado y alcanzado su resistencia final, posee varias propiedades que son críticas para evaluar su calidad y desempeño en aplicaciones estructurales. Entre las propiedades más importantes del hormigón endurecido se encuentran la densidad y la resistencia a la compresión, que influyen directamente en su capacidad para soportar cargas y su durabilidad a lo largo del tiempo.

a) Densidad

La densidad del hormigón es la relación entre la masa y el volumen de una muestra, y se expresa en kilogramos por decímetro cúbico (kg/dm^3). La densidad del hormigón depende de la densidad de cada uno de sus componentes, como el cemento, los agregados finos y gruesos, y la cantidad de aire atrapado en la mezcla. Los materiales granulares que conforman el hormigón suelen ser rocas no mineralizadas de la corteza terrestre, cuya densidad real influye en la densidad total del hormigón.

En el hormigón tradicional, la densidad generalmente oscila entre 2,35 y 2,55 kg/dm^3 (Merino, 2024). Una mayor densidad generalmente indica un hormigón más compacto y resistente, con menos porosidad, lo que se traduce en una mayor resistencia y durabilidad. Sin embargo, también puede significar un aumento en el peso propio de la estructura, lo cual debe considerarse en el diseño estructural. (Merino, 2024)

b) Resistencia a Compresión

La resistencia a la compresión es una de las propiedades mecánicas más importantes del hormigón endurecido, ya que mide su capacidad para soportar cargas de compresión sin fallar. Esta propiedad se determina mediante ensayos de compresión en muestras cilíndricas o cúbicas, generalmente de 15 o 20 cm de borde, como se muestra en la Figura 2 con el uso de una prensa hidráulica.

Para un cilindro de ensayo con un diámetro de 15 cm y una altura de 30 cm, la resistencia a la compresión se expresa en megapascales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). Durante el ensayo, la muestra es sometida a una carga creciente hasta que se produce la fractura, y la tensión máxima alcanzada es la resistencia a la compresión del hormigón.

La resistencia a la compresión es fundamental para garantizar la seguridad estructural de las construcciones de hormigón, ya que determina su capacidad para soportar las cargas de servicio, tales como el peso propio de la estructura, cargas vivas, cargas de viento, sísmicas, y otras acciones que puedan actuar sobre el edificio o infraestructura.

Además, esta propiedad está directamente relacionada con la durabilidad del hormigón, ya que un material más resistente también es más denso y menos susceptible a la penetración de agentes agresivos, como cloruros o sulfatos, que pueden degradar el hormigón y su refuerzo de acero a lo largo del tiempo. (Merino, 2024)

Figura 2
Prensa hidráulica



Elaborado por: Cáceres y González (2024)

La Figura 2 muestra una prensa hidráulica utilizada para ensayos de compresión en muestras de hormigón. Este equipo es esencial en laboratorios de materiales de construcción para evaluar la resistencia a la compresión del hormigón endurecido. En la imagen, se observa una muestra cilíndrica de hormigón colocada entre las placas de compresión de la máquina.

Durante el ensayo, la prensa aplica una carga axial creciente sobre la muestra hasta que esta falla, permitiendo medir la máxima carga soportada, que se utiliza para calcular la resistencia a la compresión. Este ensayo es fundamental para determinar la calidad del hormigón y asegurar que cumpla con los estándares estructurales requeridos.

2.2.4.3 Trabajabilidad

La facilidad de manipular y colocar el concreto en la obra mediante sistemas de compactación es directamente proporcional a la cantidad de agua que se agrega al amasado, ya que, si esta aumenta su manejabilidad, también lo hará notablemente.

El uso de plastificantes, que aumentan la docilidad de la mezcla, ha sido utilizado para reducir significativamente el contenido de agua en el diseño de hormigones de alta resistencia. (Camarena y Díaz, 2022)

2.2.4.4 Agua

Para ser utilizado en mezclas de hormigón y tener una reacción favorable, el material debe estar libre de impurezas y puro. Para maximizar la resistencia, debe aplicarse y tratarse adecuadamente en el hormigón. (Zambrano et al., 2022)

El agua representa entre el 10 y el 25 por ciento del volumen total del hormigón durante el proceso de mezclado, y su calidad es crucial para garantizar las propiedades del producto final. Si el agua contiene sustancias peligrosas, estas pueden afectar negativamente las características del hormigón.

Por lo tanto, no es suficiente que el agua sea potable; también debe cumplir con estrictos estándares de calidad porque puede contener compuestos como citratos o azúcares que no son adecuados para la mezcla. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el proceso de fabricación de hormigón no afecta la calidad del agua utilizada. (Fiallos et al., 2024)

2.2.4.5 Agregados

Se emplean para producir productos artificiales resistentes al mezclarlos con ligantes asfálticos o con materiales aglomerantes de activación hidráulica (como cementos o cales). Estos materiales se utilizan en la construcción de firmes de carreteras, con o sin la adición de elementos activos, y se adaptan a granulometrías específicas

- **Agregado Fino**

Después de pasar por el tamiz #4, el agregado fino que queda retenido en el tamiz número 200 debe cumplir con ciertos requisitos. Los agregados finos deben estar formados por partículas limpias, duras, duraderas, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, así como de recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento en aplicaciones ingenieriles. Se desaconseja el uso de partículas de agregado que tengan la tendencia a desmoronarse o fracturarse. (Hernández y Rojas, 2022).

a) Granulometría

Aunque las especificaciones de otras organizaciones pueden ser más restrictivas, las normas ASTM C33 permiten una amplia variedad en la granulometría del agregado fino. La elección de la granulometría más adecuada para el agregado fino está influenciada por el tipo de trabajo, la riqueza de la mezcla y el tamaño máximo del agregado grueso.

La granulometría que se acerca al porcentaje máximo que pasa a través de cada tamiz es generalmente la más conveniente para lograr una trabajabilidad óptima en mezclas menos ricas o cuando se utilizan agregados gruesos de tamaño pequeño.

Manteniendo una proporción estable entre agua y cemento, y seleccionando adecuadamente la proporción de agregado fino a grueso, se puede utilizar una amplia gama de granulometría sin afectar significativamente la resistencia. Para que la mezcla de concreto sea adecuada para la granulometría de los agregados locales, en ocasiones se logra una mayor economía. Esta economía se incrementa con la uniformidad en la granulometría. (Hernández y Rojas, 2022)

Figura 3
Ensayos Granulométricos



Elaborado por: Cáceres y González (2024)

La Figura 3 muestra un ensayo granulométrico, que es un procedimiento utilizado para determinar la distribución del tamaño de las partículas en una muestra de agregado, como grava o arena, que se utiliza en la producción de hormigón. En la imagen, se observa a una persona utilizando un tamiz sobre una balanza para medir la cantidad de material que pasa a través del tamiz específico.

Este proceso implica agitar o tamizar la muestra a través de una serie de tamices con diferentes tamaños de apertura para separar las partículas por tamaño. Los resultados del ensayo granulométrico son fundamentales para asegurar que los agregados cumplan con las especificaciones necesarias para obtener una mezcla de hormigón adecuada. La correcta distribución granulométrica de los agregados influye en la trabajabilidad, resistencia, densidad y durabilidad del hormigón.

- **Agregado Grueso**

Los agregados gruesos están formados por grava o una mezcla de gravas y agregado triturado, con partículas generalmente mayores de 5 mm, y predominantemente entre 9.5 mm y 38 mm. Para que los agregados gruesos sean adecuados para aplicaciones ingenieriles, deben estar compuestos por partículas limpias, duras, duraderas, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, así

como de recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas que tienden a desmoronarse o fracturarse no son recomendables. (Barreto et al., 2023)

a) Granulometría

El análisis granulométrico del agregado grueso, similar al de la arena, debe mostrar cierta continuidad en los tamaños dentro de su composición granulométrica. No obstante, es importante señalar que la influencia de la gradación de la grava en la trabajabilidad de las mezclas de concreto es considerablemente menor en comparación con la del agregado fino. La granulometría del agregado grueso, con un tamaño máximo determinado, puede variar ampliamente sin afectar de manera significativa los requisitos de agua y cemento. (Barreto et al., 2023)

Según la Norma ASTM E11 para agregado grueso, los tamices a utilizar son: 6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8" y #4.

Figura 4
Ensayos en laboratorio



Elaborado por: Cáceres y González (2024)

La Figura 4 muestra parte de un equipo utilizado para ensayos en laboratorio, específicamente una balanza digital con una bandeja de pesaje colocada sobre ella. Este equipo es esencial para medir con precisión el peso de muestras de materiales

de construcción, como agregados, cemento u otros componentes del hormigón, antes de someterlos a diferentes pruebas, como ensayos granulométricos o de compactación.

La medición precisa del peso es fundamental para asegurar que las proporciones de los componentes en la mezcla de hormigón sean correctas, lo que afecta directamente la calidad, resistencia y durabilidad del material final. En la imagen, la balanza muestra una lectura de "0.0", lo que indica que está tarada y lista para realizar mediciones precisas de los materiales a evaluar.

b) Densidad Relativa

La densidad relativa, también conocida como gravedad específica, es un parámetro que se utiliza para describir la densidad de los agregados en comparación con la densidad del agua. Se determina mediante el cociente entre el peso en el aire de un volumen específico de agregados en condición saturada y superficialmente seca, y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada, libre de aire y a la misma temperatura. (Parrales et al., 2023)

Este cociente proporciona una medida de la densidad de los agregados. En términos prácticos, el concepto se refiere a un peso específico relativo o simplemente peso específico de los agregados en condición saturada y superficialmente seca. Como se trata de una relación entre dos magnitudes con las mismas unidades (kg/m^3 o g/cm^3), la densidad relativa no tiene unidades.

Este valor es fundamental para calcular las proporciones correctas de agregados en la mezcla de hormigón, ya que influye en la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del material.

c) Absorción

La absorción de los agregados es una propiedad clave que mide la cantidad de agua que los agregados pueden retener en su estructura porosa en condiciones saturadas y superficialmente secas. Este valor se expresa generalmente como un porcentaje del peso seco del agregado. (Parrales et al., 2023)

La absorción es crucial porque permite ajustar el contenido de agua en las mezclas de hormigón, asegurando que la cantidad de agua sea suficiente para la hidratación del cemento sin causar un exceso que pueda llevar a problemas como la

segregación o el sangrado.

Además, conocer la absorción de los agregados es importante para calcular los pesos adecuados de cada componente en la mezcla de hormigón, permitiendo así lograr la resistencia y la durabilidad deseadas.

d) Contenido de Humedad

El contenido de humedad de los agregados se refiere a la cantidad de agua presente en ellos en un momento determinado y se expresa como un porcentaje del peso seco de la muestra. Este contenido puede ser mayor o menor que el porcentaje de absorción dependiendo de las condiciones ambientales y el estado de saturación de los agregados.

El contenido de humedad es fundamental para ajustar las proporciones de la mezcla de hormigón, ya que un exceso o déficit de agua puede afectar negativamente la trabajabilidad, la resistencia y el comportamiento general del hormigón fresco y endurecido. Los agregados que están demasiado secos pueden absorber agua de la mezcla de cemento, afectando el proceso de hidratación, mientras que los agregados con demasiada agua pueden aumentar el contenido de agua efectiva de la mezcla, reduciendo su resistencia y durabilidad. Por esta razón, es esencial medir y controlar el contenido de humedad de los agregados regularmente durante la preparación del hormigón. (Parrales et al., 2023)

2.2.4.6 Durabilidad de los agregados

La estabilidad del hormigón está influenciada tanto por la calidad de los materiales que lo conforman como por las condiciones ambientales a las que está expuesto durante su vida útil, la cual se espera sea prolongada debido a su importancia estructural y a la inversión realizada. Para evaluar la estabilidad potencial de los materiales, es crucial entender su composición y características para seleccionar adecuadamente los ingredientes, controlar la calidad y prever la durabilidad del hormigón en función de las condiciones de exposición esperadas. Esto incluye comprender las causas de la reacción álcali-sílice y los mecanismos de deterioro del hormigón. (Pin, 2023)

2.2.4.7 Fibras como refuerzo en materiales de construcción

La literatura relacionada con el uso de fibras como refuerzo en materiales de construcción, que incluye fibras naturales como la cáscara de maní y las de plástico, se analizará. Las fibras tienen un impacto en la resistencia, la ductilidad, la durabilidad y otros aspectos del material compuesto. (Resano et al., 2022)

Para mejorar sus propiedades mecánicas y aumentar su resistencia y durabilidad, las fibras se emplean con frecuencia como refuerzo en una variedad de materiales de construcción. Las fibras se agregan al suelo cemento y a otros materiales compuestos para reforzar y mejorar su comportamiento ante cargas y condiciones ambientales adversas. (Resano et al., 2022)

2.2.4. Cáscara de Maní

Según El Comercio (2018), en las provincias de Manabí y el Oro de Ecuador se cultivan 20000 hectáreas de maní, mientras que en todo el mundo se cosechan alrededor de 46 millones de toneladas de maní para diversos alimentos anualmente. La cáscara, que es el subproducto del proceso industrial del maní, se usa con frecuencia para alimentar al ganado y como combustibles, ya que se quema directamente en el suelo donde se quema, lo que provoca la calcinación del suelo.

Figura 5
Cáscara de Maní



Elaborado por: Vásconez y Viña (2022)

La Figura 6 presenta un mapa de Ecuador que muestra las provincias productoras de maní, destacadas en diferentes colores. Las provincias de Manabí, Guayas, Los Ríos, El Oro, y Loja son algunas de las principales áreas donde se cultiva el maní, lo que convierte a estas regiones en centros importantes para la producción de este cultivo en el país. Estas áreas tienen condiciones climáticas y de suelo favorables para el cultivo de maní, lo que ha permitido que se conviertan en zonas de alta productividad.

La producción de maní en estas provincias no solo impulsa la economía local, sino que también genera subproductos, como las cáscaras de maní, que pueden ser aprovechados en diversas aplicaciones sostenibles, como la producción de hormigón con adiciones puzolánicas. Este enfoque no solo promueve el desarrollo económico local, sino que también apoya prácticas sostenibles y de economía circular al reutilizar residuos agrícolas.

Debido a la estructura fértil, bien drenada y con un alto contenido de potasio, fósforo y calcio, estas provincias tienen suelo adecuado para la siembra. El cultivo se lleva a cabo en Ecuador en cualquier momento del año, sin embargo, debido a su rápido desarrollo, es necesario planificar con cuidado la siembra durante las lluvias para cosechar en tiempo seco y evitar la propagación de los granos maduros.

La mayoría de los productores siembran durante la temporada de lluvias, de enero a mayo, porque no cuentan con un sistema de riego. Esto lo suelen hacer en las condiciones del terreno arado y cuando esto no es posible en el terreno sin arar, cabe señalar que durante la época de cosecha, es decir, de junio a julio los costos son más bajos debido a la alta demanda. Los agricultores con sistemas de riego tienen la opción de replantar durante la estación seca, de junio a diciembre.

2.2.5.2. Composición de la Cascara de Maní

Un 95 % de la cáscara de maní es materia orgánica, mientras que el 5 % son minerales que se encuentran en las cenizas: Si, Ca, Mg, K, Al, P, S y Cl. La celulosa, la lignina y la hemicelulosa son los componentes químicos principales de la cáscara de maní. También se incluyen resinas, azúcares libres, proteínas, lípidos, minerales y otros polisacáridos. (Mendoza, 2020)

Tabla 1
Composición de la Cascara de Maní

Contenido	Rango de referencia (%)
Humedad	8-10
Proteína cruda	6- 11
Grasa	1-2
Celulosa	35-45
Hemicelulosa	23-30
Lignina	27-33
Ceniza	2-4
Extractivos	14

Fuente: Mendoza (2020)

La Tabla 1 muestra la composición de la cáscara de maní, destacando varios componentes importantes: humedad (8-10%), proteína cruda (6-11%), grasa (1-2%), celulosa (35-45%), hemicelulosa (23-30%), lignina (27-33%), ceniza (2-4%), y extractivos (14%). La celulosa, hemicelulosa y lignina son los componentes principales, proporcionando estructura y rigidez a la cáscara.

La ceniza, que representa entre un 2-4%, contiene óxidos que pueden actuar como materiales puzolánicos cuando se utiliza como aditivo en mezclas de cemento, lo que resalta su potencial como material sostenible en la industria del hormigón. Además, su contenido de humedad, proteínas y extractivos influye en su reactividad y comportamiento durante procesos como la combustión controlada para la obtención de ceniza puzolánica, promoviendo su uso en aplicaciones de economía circular.

2.2.5.3. Uso del desecho como material de construcción

En la Universidad Nacional de Río Cuarto, se han elaborado paneles de aglomerados mixtos utilizando astillas de madera y cáscaras de maní, con un adhesivo fenólico. Los resultados indican que la cantidad de cáscara de maní representa el 30% del total de las partículas, lo cual se considera óptimo.

El uso de estos residuos en el sector de la construcción es aún limitado. También se ha explorado el uso de cáscaras de maní en forma de cenizas, aplicándolas al cemento puzolánico, aunque este proceso no se ha implementado en Ecuador.

La cáscara de maní actúa como un agregado especial que proporciona al material propiedades como alta porosidad y rigidez adecuada, gracias a sus partículas fibrosas. Estas características resultan en un material de bajo peso con excelente capacidad de aislamiento térmico, haciéndolo adecuado para elementos de cierre tanto verticales como horizontales. (De la Cruz y Lazo, 2023)

2.2.5.4. Impacto Ambiental y Sostenibilidad

El uso de ceniza de cáscara de maní (CCM) como sustituto parcial del cemento en la producción de hormigón tiene importantes implicaciones ambientales y de sostenibilidad. Este enfoque no solo ayuda a reducir la huella de carbono asociada con la producción de cemento, sino que también respalda los principios de la economía circular mediante la reutilización de residuos agrícolas. La adopción de materiales puzolánicos alternativos como la CCM puede desempeñar un papel crucial en la transición hacia una construcción más ecológica y sostenible. A continuación, se abordan ambos aspectos con mayor detalle.

Comparación de la Huella de Carbono

La huella de carbono de los materiales de construcción es una medida del impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ equivalentes. En la producción de hormigón, el cemento es el componente que más contribuye a las emisiones de CO₂ debido al proceso de calcinación de piedra caliza (CaCO₃) para producir clínker, que libera grandes cantidades de CO₂ tanto del consumo de combustible como de la descomposición química del carbonato de calcio. Se estima que la producción de cemento Portland es responsable del 8% de las emisiones globales de CO₂.

I. Impacto del Cemento en las Emisiones de CO₂:

La producción de una tonelada de cemento Portland genera entre 800 y 900 kg de CO₂, dependiendo de la eficiencia del proceso y el tipo de combustible utilizado. (Scrivener et al., 2018). Estas emisiones provienen de dos fuentes principales: la descarbonatación de la piedra caliza (alrededor del 60-65% de las emisiones) y el consumo de energía durante el calentamiento del horno (alrededor del 30-35% de las emisiones).

II. Reducción de Emisiones mediante la Sustitución con Ceniza de Cáscara de Maní:

Al reemplazar una parte del cemento con ceniza de cáscara de maní, se puede lograr una reducción significativa de las emisiones de CO₂. Por ejemplo, al reemplazar un 15% del cemento con CCM, se reduce la cantidad de cemento utilizado, lo que disminuye las emisiones de CO₂ en la misma proporción.

Utilizando los datos de Rosero et al. (2022), una reducción del 15% en el uso de cemento puede evitar la emisión de aproximadamente 120-135 kg de CO₂ por cada tonelada de hormigón producido.

Además, la producción de CCM tiene una huella de carbono mucho menor en comparación con la producción de cemento. La cáscara de maní es un residuo agrícola que, de no utilizarse, sería descartado o quemado de manera ineficiente, liberando CO₂ y otros contaminantes al medio ambiente. En cambio, al procesarse adecuadamente como un material puzolánico, la CCM puede reutilizarse de manera efectiva, minimizando su impacto ambiental.

III. Evidencia de la Reducción de Huella de Carbono en Hormigones con CCM:

De la Cruz y Lazo (2023), realizaron un análisis del ciclo de vida (ACV) del hormigón con adición de CCM y concluyeron que el uso de un 20% de CCM puede reducir la huella de carbono del hormigón en hasta un 18% en comparación con el hormigón tradicional.

Este estudio también destaca que la energía consumida para procesar la CCM es considerablemente menor que la requerida para producir cemento, lo que refuerza los beneficios ambientales de esta sustitución.

IV. Comparación con Otros Materiales Puzolánicos:

Materiales puzolánicos como las cenizas volantes y el humo de sílice también se utilizan para reducir la huella de carbono del hormigón. Las cenizas volantes, subproducto de la combustión del carbón, y el humo de sílice, subproducto de la

producción de silicio, son ampliamente reconocidos por mejorar la durabilidad y resistencia del hormigón, al tiempo que reducen su huella de carbono.

La CCM ofrece beneficios similares, pero con la ventaja adicional de ser un subproducto agrícola que no requiere extracción minera ni grandes procesos industriales. Además, la CCM puede ser producida localmente en regiones donde el maní es abundante, reduciendo aún más la huella de carbono al minimizar el transporte.

Aspectos de Economía Circular

La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica mantener los productos, materiales y recursos en uso el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos y aprovechando los subproductos como insumos para nuevos procesos.

El uso de ceniza de cáscara de maní en la producción de hormigón es un ejemplo claro de cómo los principios de la economía circular pueden aplicarse en la industria de la construcción.

a) Reutilización de Residuos Agrícolas:

La cáscara de maní es un subproducto que resulta del procesamiento del maní, uno de los cultivos más comunes en varias regiones del mundo. La producción de maní genera grandes cantidades de cáscaras que, sin un uso adecuado, a menudo se eliminan mediante la quema abierta o se envían a vertederos, lo que puede causar problemas ambientales como la contaminación del aire y la generación de gases de efecto invernadero.

El uso de CCM en hormigones convierte un residuo problemático en un recurso valioso. Según Vásconez y Viña (2022), en Ecuador, un país con alta producción de maní, el potencial de generación de ceniza de cáscara de maní puede alcanzar decenas de miles de toneladas al año. Utilizar estas cenizas como aditivo puzolánico en el hormigón no solo reduce los residuos agrícolas, sino que también disminuye la necesidad de utilizar materias primas no renovables como la piedra caliza.

b) Reducción de la Dependencia de Materias Primas No Renovables:

La industria del cemento depende de la extracción de piedra caliza y otros materiales vírgenes. Al sustituir parcialmente el cemento por ceniza de cáscara de maní, se reduce la presión sobre estos recursos no renovables. Esto no solo prolonga la vida útil de las canteras, sino que también reduce los impactos negativos de la minería, como la destrucción de hábitats naturales, la erosión del suelo y la contaminación del agua.

Además, la producción de CCM es menos intensiva en energía que la del cemento, ya que no requiere las altas temperaturas necesarias para la calcinación de la piedra caliza. Esto se traduce en una reducción del consumo de energía y, por tanto, de las emisiones de gases de efecto invernadero.

c) Minimización de Residuos y Emisiones:

En un enfoque de economía circular, los residuos son minimizados y reutilizados de manera que se convierten en insumos valiosos para otros procesos. La incorporación de CCM en el hormigón es un ejemplo claro de cómo los desechos agrícolas pueden ser revalorizados y reincorporados en la cadena de valor. De acuerdo con Mendoza et al., (2021), la utilización de ceniza de cáscara de maní en la construcción no solo reduce los desechos, sino que también promueve prácticas agrícolas sostenibles al proporcionar un incentivo económico para la recolección y procesamiento de cáscaras de maní.

d) Ahorro de Costos y Creación de Valor Local:

La incorporación de CCM en la producción de hormigón puede generar ahorros de costos significativos debido a la reducción del uso de cemento, que es un componente relativamente costoso. Además, el uso de un material local como la ceniza de cáscara de maní puede fomentar el desarrollo económico local, creando nuevas oportunidades de empleo y diversificación económica en las comunidades agrícolas.

Por ejemplo, en regiones donde el cultivo de maní es una actividad económica importante, el establecimiento de pequeñas plantas de procesamiento de CCM puede añadir valor a la cadena de suministro agrícola, reduciendo la dependencia de las

importaciones de cemento y otros aditivos puzolánicos más costosos y ayudando a las economías locales a prosperar.

El uso de ceniza de cáscara de maní como aditivo puzolánico en hormigón ofrece una solución sostenible que no solo mejora las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón, sino que también reduce significativamente la huella de carbono y fomenta la economía circular.

Este enfoque minimiza los residuos agrícolas, reduce la dependencia de materias primas no renovables, ahorra costos y crea valor local. Las investigaciones futuras deben enfocarse en optimizar el uso de CCM en hormigones, estandarizar los procesos de producción y explorar aplicaciones en diversas condiciones de construcción para maximizar sus beneficios ambientales, económicos y sociales.

2.2.5.5. Cenizas de la Cascara de Maní

Es un sedimento finamente dividido que se obtiene del proceso de quema de cáscaras de maní, el resultado de este proceso produce un material puzolánico que se utiliza en el concreto como alternativa para reemplazar el cemento, también es un material favorable y estable. (De la Cruz y Lazo, 2023)

Figura 7

Cenizas de la Cascara de Maní



Elaborado por: Cáceres y González (2024)

La Figura 7 muestra las cenizas de la cáscara de maní, un subproducto obtenido mediante la combustión controlada de las cáscaras de maní. Estas cenizas son ricas en sílice amorfa y otros compuestos minerales que les confieren propiedades

puzolánicas, lo que significa que pueden reaccionar con el hidróxido de calcio en presencia de agua para formar compuestos adicionales de silicato de calcio hidratado (C-S-H).

Esta característica hace que las cenizas de cáscara de maní sean un material potencialmente útil como aditivo en el hormigón, mejorando su resistencia y durabilidad al tiempo que reduce la necesidad de cemento tradicional, disminuyendo así la huella de carbono de los materiales de construcción. El uso de estas cenizas promueve la economía circular al reutilizar residuos agrícolas y contribuir a una construcción más sostenible.

Introducción al Uso de Residuos Agrícolas en la Construcción

La industria de la construcción está en constante búsqueda de soluciones más sostenibles debido al alto impacto ambiental de materiales convencionales como el cemento. En este contexto, el uso de residuos agrícolas como materiales suplementarios ha ganado relevancia. Estos residuos no solo reducen la huella de carbono de la construcción, sino que también fomentan la economía circular al reutilizar subproductos de otras industrias. La incorporación de residuos agrícolas en el hormigón mejora ciertas propiedades mecánicas y de durabilidad, además de reducir los costos de producción.

Algunos de los residuos agrícolas utilizados en la industria del hormigón incluyen:

1. Cenizas de Cascarilla de Arroz:

Este subproducto se obtiene al quemar la cascarilla de arroz, un residuo agrícola abundante en regiones donde se cultiva arroz. La ceniza de cascarilla de arroz produce una sílice amorfa altamente reactiva cuando se quema a temperaturas controladas. Esta sílice reacciona con el hidróxido de calcio presente en el cemento hidratado, formando geles de silicato de calcio hidratado (C-S-H) adicionales que mejoran la resistencia y la densidad del hormigón.

Investigaciones recientes han demostrado que la adición de cenizas de cascarilla de arroz puede aumentar la resistencia a la compresión, disminuir la

permeabilidad y mejorar la durabilidad del hormigón frente a agentes agresivos como los sulfatos y cloruros. (Arif et al., 2019; Zareei et al., 2020)

2. Bagazo de Caña de Azúcar:

Este residuo se genera durante la extracción del jugo de caña de azúcar y es común en regiones donde se cultiva la caña. Cuando se quema, el bagazo de caña de azúcar produce cenizas con alto contenido de sílice y otros compuestos puzolánicos.

Estudios recientes han encontrado que la adición de cenizas de bagazo de caña de azúcar al hormigón mejora significativamente la resistencia a la compresión, flexión y durabilidad. Por ejemplo, Araújo et al. (2020), demostraron que la adición de hasta un 20% de cenizas de bagazo de caña de azúcar puede producir hormigones de alta resistencia con menor densidad, adecuados para aplicaciones específicas.

3. Cenizas de Cascarilla de Coco:

La cascarilla de coco, cuando se procesa correctamente, puede producir cenizas que actúan como materiales cementantes suplementarios. Un estudio reciente de Mekonnen et al., (2021), mostró que la adición de cenizas de cascarilla de coco al hormigón mejora su durabilidad, especialmente en términos de resistencia a los sulfatos y a la expansión por la reacción álcali-sílice.

El uso de estos residuos agrícolas no solo mejora las propiedades del hormigón, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir la cantidad de desechos sólidos y las emisiones de gases de efecto invernadero. Este enfoque establece una base comparativa valiosa para evaluar la efectividad de otros residuos agrícolas, como la ceniza de cáscara de maní, en la mejora de las propiedades del hormigón.

Revisión de Literatura sobre Ceniza de Cáscara de Maní

La ceniza de cáscara de maní (CCM) es un subproducto agrícola derivado de la quema de cáscaras de maní, que ha demostrado tener propiedades puzolánicas. Estas propiedades hacen que la CCM sea un material prometedor para su uso como aditivo en el hormigón, ya que puede reaccionar químicamente con el hidróxido de

calcio liberado durante la hidratación del cemento, mejorando así la microestructura del hormigón y sus propiedades mecánicas.

1. Resistencia a la Compresión:

Diversos estudios han analizado el impacto de la adición de CCM en la resistencia a la compresión del hormigón. De la Cruz y Lazo (2023), demostraron que reemplazar entre un 10% y un 15% del cemento con CCM puede aumentar la resistencia a la compresión del hormigón en un rango del 5% al 12%, dependiendo de las condiciones de curado y las proporciones de mezcla utilizadas. Esta mejora se atribuye a la formación de productos cementantes adicionales a partir de la reacción pozoalánica de la ceniza con el hidróxido de calcio, lo cual reduce la porosidad y mejora la cohesión de la matriz del hormigón.

2. Trabajabilidad:

La adición de CCM afecta la trabajabilidad del hormigón fresco. Mendoza et al. (2021), informaron que la trabajabilidad del hormigón disminuye con el aumento del contenido de ceniza debido a su alta superficie específica, que demanda más agua para mantener la consistencia adecuada de la mezcla.

Sin embargo, este problema puede ser mitigado mediante el uso de superplastificantes o ajustando las proporciones de agua-cemento, lo que permite mantener una buena manejabilidad sin comprometer la resistencia.

3. Durabilidad:

En cuanto a durabilidad, la CCM ha mostrado resultados prometedores en mejorar la resistencia del hormigón a la penetración de cloruros, reducir la expansión debido a la reacción álcali-sílice, y aumentar la resistencia a la corrosión del refuerzo de acero.

Según Rosero et al. (2022), un reemplazo del 15% de cemento por CCM reduce significativamente la permeabilidad del hormigón, mejorando así su comportamiento frente a agentes agresivos, especialmente en ambientes marinos o industriales.

4. Limitaciones y Desafíos:

A pesar de sus ventajas, el uso de CCM no está exento de desafíos. Uno de los principales problemas es la variabilidad en la composición química de la ceniza, que depende de factores como la temperatura y el método de quema, así como de la procedencia del maní.

Una proporción excesiva de CCM (más del 20%) puede resultar en una disminución de la resistencia a la compresión debido a la mayor porosidad y la menor cantidad de gel C-S-H formado. (De la Cruz y Lazo, 2023). Por tanto, es crucial optimizar las proporciones de mezcla y realizar pruebas exhaustivas antes de su aplicación en proyectos de construcción.

La adición de ceniza de cáscara de maní en el hormigón ofrece una alternativa sostenible para mejorar sus propiedades mecánicas y de durabilidad, al tiempo que se reduce la huella de carbono del material. Sin embargo, es esencial considerar cuidadosamente las proporciones de mezcla y las características específicas del material para maximizar sus beneficios. Las investigaciones futuras deberían centrarse en la optimización de las mezclas, la estandarización de los procesos de producción de cenizas, y la evaluación del rendimiento del hormigón con CCM bajo diversas condiciones ambientales para asegurar su adopción efectiva en la industria de la construcción.

Figura 8
Propiedades de la ceniza de cascara de maní

Composición química del CCM	
Componente	Porcentaje
Óxido ferroso (Fe ₂ O ₃)	1.81
Óxido de sodio (Na ₂ O)	9.32
Óxido de potasio (K ₂ O)	9.75
Silice (SiO ₂)	34.3
Oxido de calcio (CaO)	12.1
Sulfato (SO ₃)	5.89
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	6.01
Óxido de Magnesio (MgO)	4.06

Fuente: De la Cruz y Lazo (2023)

La Figura 8 presenta la composición química de la ceniza de cáscara de maní (CCM), destacando los diferentes óxidos presentes en esta ceniza y sus respectivos porcentajes. Los componentes principales son el óxido de silicio (SiO_2) con un 34.3% y el óxido de calcio (CaO) con un 12.1%, ambos resaltados por su importancia en las propiedades puzolánicas de la ceniza.

Estos óxidos permiten que la CCM reaccione con el hidróxido de calcio en presencia de agua, formando compuestos de silicato de calcio hidratado (C-S-H) que mejoran la resistencia y durabilidad del hormigón. Otros componentes presentes en la CCM incluyen óxido de potasio (K_2O) al 9.75%, óxido de sodio (Na_2O) al 9.32%, y óxido de aluminio (Al_2O_3) al 6.01%, entre otros como el óxido de magnesio (MgO), óxido ferroso (Fe_2O_3) y sulfito (SO_3).

La presencia de estos compuestos indica que la CCM tiene el potencial de ser un aditivo efectivo en el hormigón, aportando a su resistencia mecánica y contribuyendo a la sostenibilidad al reutilizar residuos agrícolas.

1. Propiedades Pozolánicas de la Ceniza de Cáscara de Maní

La ceniza de cáscara de maní (CCM) es un subproducto agrícola que, cuando se quema bajo condiciones controladas, adquiere propiedades puzolánicas que la hacen adecuada como aditivo en hormigones y morteros.

Las propiedades puzolánicas de un material dependen de su capacidad para reaccionar con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) presente en el cemento hidratado para formar compuestos cementantes adicionales, mejorando la resistencia y durabilidad del hormigón. Esta sección aborda cómo la CCM actúa como un material puzolánico y compara su eficacia con otros materiales puzolánicos comunes como las cenizas volantes y el humo de sílice.

Explicación de la Pozolanicidad

La pozolanicidad se refiere a la capacidad de ciertos materiales, que por sí mismos no poseen propiedades cementantes, de reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio en presencia de agua para formar compuestos de silicato de calcio hidratado (C-S-H) y otros productos similares que son responsables de la resistencia

y durabilidad del hormigón. La ceniza de cáscara de maní, rica en sílice amorfa y otros óxidos reactivos, es un material que exhibe propiedades pozolánicas significativas.

Cuando la ceniza de cáscara de maní se incorpora al hormigón, ocurre la siguiente reacción química fundamental:

1. Reacción Pozolánica:

La sílice amorfa presente en la ceniza de cáscara de maní reacciona con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), un subproducto de la hidratación del cemento portland, para formar gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H), que es la fase principal que contribuye a la resistencia mecánica del hormigón.

2. Mejora de la Microestructura:

La formación adicional de C-S-H y otros productos cementantes reduce la porosidad del hormigón, mejorando así su densidad y, en consecuencia, su resistencia a la compresión, impermeabilidad y durabilidad frente a ataques químicos como los de sulfatos y cloruros. De acuerdo con investigaciones recientes (De la Cruz y Lazo, 2023), la adición de un 10-15% de ceniza de cáscara de maní puede incrementar la resistencia a la compresión hasta en un 12% debido a la mejora de la microestructura interna del hormigón.

3. Reducción del Hidróxido de Calcio Libre:

La cantidad de hidróxido de calcio libre, que es más susceptible a la lixiviación y puede llevar a la degradación de la durabilidad del hormigón, se reduce mediante la reacción con la CCM. Esto mejora la resistencia del hormigón a largo plazo.

Comparación con Otros Materiales Pozolánicos

Para evaluar la eficacia de la ceniza de cáscara de maní como material pozolánico, es esencial compararla con otros materiales pozolánicos comúnmente utilizados, como las cenizas volantes y el humo de sílice, que son conocidos por sus propiedades de mejora en la resistencia y durabilidad del hormigón.

1. Cenizas Volantes:

- Composición y Reactividad: Las cenizas volantes son subproductos de la combustión del carbón en centrales termoeléctricas. Son ricas en sílice y alúmina, lo que les confiere una alta capacidad puzolánica. La reactividad de las cenizas volantes depende de su contenido de vidrio amorfo y su finura. En comparación con la CCM, las cenizas volantes poseen una reactividad más estable y predecible debido a su composición más uniforme.
- Efectos en la Resistencia: La adición de cenizas volantes en un 20-30% puede mejorar la resistencia a la compresión y la durabilidad del hormigón a largo plazo. Según Zareei et al. (2020), las cenizas volantes son particularmente efectivas para mejorar la resistencia a la penetración de cloruros y reducir la expansión por reacción álcali-sílice.
- Comparación: La CCM tiene una reactividad puzolánica similar a las cenizas volantes, pero puede ser menos predecible debido a la variabilidad en la composición química de las cenizas de maní dependiendo del método de quema y origen del material.

2. Humo de Sílice:

- Composición y Reactividad: El humo de sílice es un subproducto de la producción de silicio y ferro-silicio, y está compuesto por partículas ultrafinas de sílice amorfa. Es conocido por tener una alta actividad puzolánica debido a su gran superficie específica. El humo de sílice puede reaccionar rápidamente con el hidróxido de calcio, formando C-S-H adicional y mejorando considerablemente la densidad del hormigón.
- Efectos en la Resistencia: Se ha demostrado que la adición de humo de sílice en proporciones del 5-10% puede aumentar significativamente la resistencia a la compresión y mejorar la durabilidad contra ataques químicos, aunque es más costoso. Estudios como el de Zhang et al. (2021), han mostrado que el humo de sílice puede aumentar la

resistencia a la compresión del hormigón hasta en un 20-30% en comparación con hormigones sin aditivos.

- Comparación: Si bien el humo de sílice ofrece una mayor reactividad puzolánica y efectos de refuerzo que la CCM, el costo elevado y la disponibilidad limitada hacen que la ceniza de cáscara de maní sea una alternativa más económica y viable en contextos locales, especialmente en regiones donde el maní es un cultivo abundante.

3. Eficiencia Pozolánica de la Ceniza de Cáscara de Maní:

- En términos de eficiencia puzolánica, la ceniza de cáscara de maní puede considerarse un material de actividad moderada. Aunque no alcanza la extrema finura y reactividad del humo de sílice, su capacidad para mejorar la resistencia del hormigón es comparable a la de las cenizas volantes, con la ventaja añadida de ser un recurso renovable y sostenible. Según Arif et al., (2019), la efectividad puzolánica de la CCM se maximiza cuando se controla adecuadamente el proceso de quema y molienda, garantizando así una sílice amorfa reactiva.

La ceniza de cáscara de maní presenta propiedades puzolánicas efectivas que la convierten en una alternativa sostenible a otros materiales puzolánicos en la industria del hormigón. Aunque su reactividad puede variar, es comparable a las cenizas volantes y más económica que el humo de sílice.

La utilización de la CCM no solo mejora la resistencia y durabilidad del hormigón, sino que también ofrece beneficios ambientales al reutilizar un subproducto agrícola que, de otra manera, sería un desecho. La optimización del procesamiento de la ceniza de cáscara de maní y la investigación futura pueden consolidar su lugar como aditivo puzolánico en el desarrollo de materiales de construcción sostenibles.

2.3. Marco Legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

En la Constitución, Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. (Constitución de la República del Ecuador, 2021)

Este artículo reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando la sostenibilidad y el buen vivir o "*sumak kawsay*". Este principio se enfoca en la protección del medio ambiente como un derecho humano fundamental y promueve un equilibrio entre el desarrollo humano y la conservación de la naturaleza.

Este enfoque está alineado con las políticas globales de desarrollo sostenible que buscan armonizar el bienestar social y la protección del entorno natural. Además, este artículo sirve de base para exigir políticas públicas y acciones de conservación que eviten la degradación del medio ambiente y aseguren la calidad de vida de la población.

Art. 30.- Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica. (Constitución de la República del Ecuador, 2021)

El artículo 30 establece el derecho de las personas a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, independientemente de su situación social y económica. Este derecho implica que el Estado debe garantizar las condiciones necesarias para que todos los ciudadanos tengan acceso a una vivienda que cumpla con los estándares de seguridad, salubridad y dignidad.

La inclusión de términos como "con independencia de su situación social y económica" resalta el enfoque inclusivo y equitativo de la constitución, donde la vivienda se considera no solo un bien material, sino un componente esencial del bienestar y desarrollo humano integral. Esto obliga al Estado y a sus instituciones a adoptar políticas de urbanización y vivienda que sean inclusivas y respeten los derechos humanos.

Art. 31.- Las personas tienen derecho al disfrute pleno de la ciudad y de sus espacios públicos, bajo los principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural. El ejercicio del derecho a la ciudad se basa en la gestión democrática de ésta, en la función social y ambiental de la propiedad y de la ciudad, y en el ejercicio pleno de la ciudadanía. (Constitución de la República del Ecuador, 2021)

El artículo 31 aborda el derecho al disfrute pleno de la ciudad y de sus espacios públicos, bajo principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural. Este artículo subraya la necesidad de una gestión democrática de las ciudades que priorice la función social y ambiental de la propiedad, así como el ejercicio pleno de la ciudadanía.

El concepto de "derecho a la ciudad" implica un enfoque integral de la planificación urbana que promueva la inclusión social, la participación ciudadana en la toma de decisiones, y el respeto por la diversidad cultural. Al reconocer el equilibrio entre lo urbano y lo rural, este artículo también destaca la importancia de mantener una conexión sostenible y justa entre estos dos entornos, evitando la marginación de comunidades rurales y promoviendo una cohesión territorial.

Art. 408.- Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo. (Constitución de la República del Ecuador, 2021)

El artículo 408 establece que los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, como yacimientos minerales y de hidrocarburos, son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado. Este artículo asegura que el control y la gestión de estos recursos se mantengan bajo la soberanía estatal, lo que evita la privatización y garantiza que los beneficios derivados de su explotación puedan ser utilizados para el desarrollo social y económico del país. Al destacar la inalienabilidad e imprescriptibilidad de estos recursos, se establece una protección constitucional que evita su apropiación indebida por parte de intereses privados y protege los derechos de las generaciones presentes y futuras a beneficiarse de estos recursos. Además, este artículo refuerza la necesidad de una

gestión responsable y sostenible de los recursos no renovables, alineada con los principios de justicia ambiental y equidad.

2.3.2. Norma Ecuatoriana de la Construcción

Las Normas Técnicas Ecuatorianas (NEC INEN), establecen directrices fundamentales que garantizan la calidad y seguridad de los materiales y procesos utilizados en la construcción de hormigón en Ecuador. Estas normas cubren desde la selección de áridos y la preparación del hormigón hasta los ensayos de resistencia y el uso de agua potable. A continuación, se presenta un análisis más detallado de cada norma:

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

Esta norma es fundamental para la calidad del hormigón porque especifica los procedimientos para realizar el análisis granulométrico de los áridos gruesos y finos, componentes esenciales en la mezcla de hormigón. La granulometría afecta propiedades cruciales del hormigón, como su trabajabilidad, compactación, resistencia a la compresión y durabilidad. Una adecuada distribución granulométrica asegura que los agregados encajen bien entre sí, minimizando los vacíos y optimizando la densidad del hormigón. Esta norma establece los procedimientos estándar para el tamizado de áridos, permitiendo determinar el porcentaje en peso que pasa por cada tamiz. Cumplir con esta normativa es esencial para garantizar que los áridos utilizados proporcionen un hormigón de alta calidad y rendimiento.

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

Esta norma establece los requisitos de calidad que deben cumplir los áridos, como la piedra y la arena, para ser utilizados en la preparación de hormigones. Los áridos constituyen aproximadamente el 60-75% del volumen del hormigón y, por tanto, influyen significativamente en sus propiedades mecánicas y físicas. Los requisitos incluyen la resistencia al desgaste, que afecta la durabilidad del hormigón, la ausencia

de impurezas que podrían interferir con la hidratación del cemento, y la estabilidad química, que es crucial para evitar reacciones dañinas como la reacción álcali-sílice. Además, la norma establece límites para la absorción de agua y la resistencia a la congelación y descongelación, asegurando que los áridos contribuyan a un hormigón durable y resistente en diversas condiciones ambientales.

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

La resistencia a la compresión es la propiedad más importante del hormigón, ya que determina su capacidad de soportar cargas de compresión sin fallar. Esta norma proporciona una metodología de ensayo estándar para medir esta propiedad en especímenes cilíndricos. Incluye directrices detalladas sobre la preparación de las muestras, el curado, el procedimiento de ensayo, las condiciones de carga, y los criterios para interpretar los resultados. La consistencia y precisión en estos ensayos son fundamentales para garantizar que el hormigón cumpla con las especificaciones estructurales y de seguridad requeridas en el diseño de edificaciones e infraestructuras. El cumplimiento de esta norma es indispensable para verificar la calidad del hormigón utilizado en el proyecto, proporcionando una medida objetiva de su rendimiento.

NEC INEN 1855-2:2002 - Especificaciones para la Producción de Hormigón Fabricado en Obra en Estado Fresco y No Endurecido:

Esta norma aborda las especificaciones para la producción de hormigón fresco fabricado en obra, cubriendo todas las etapas desde la mezcla hasta el vertido y el curado inicial. El hormigón en estado fresco debe ser trabajado con cuidado para evitar problemas como la segregación (separación de los componentes) y el sangrado (exceso de agua en la superficie). La norma detalla los procedimientos para asegurar la calidad del hormigón fresco, incluyendo la proporción de mezcla, el tiempo de mezclado, el método de transporte, y la técnica de vertido y compactación. Estas especificaciones ayudan a garantizar que el hormigón fresco mantenga su consistencia y características deseadas hasta que sea colocado y comience el

proceso de fraguado y endurecimiento. Un control adecuado del hormigón en esta fase es crucial para asegurar que el material final cumpla con las especificaciones técnicas y estructurales.

NTE INEN 1763:2010 - Procedimientos para la Obtención de Muestras Representativas de Hormigón Fresco:

Esta norma es fundamental para la calidad del hormigón porque establece los procedimientos para obtener muestras representativas de hormigón fresco que serán sometidas a ensayos. La norma especifica cómo deben tomarse las muestras del hormigón entregado en el lugar del proyecto para asegurar que sean representativas de la calidad del hormigón utilizado en la obra. Las muestras deben ser recolectadas y manejadas de manera que eviten la segregación y la pérdida de humedad, factores que podrían afectar los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, trabajabilidad y durabilidad. Esta norma asegura la validez y confiabilidad de las pruebas realizadas, permitiendo a los ingenieros y técnicos tomar decisiones fundamentadas sobre la calidad del hormigón y la necesidad de ajustes en la mezcla o procedimientos de colocación.

NTE INEN 1108 - Requisitos para el Agua Potable:

Aunque esta norma se refiere al agua potable para consumo humano, es de gran relevancia para la industria del hormigón. El agua de mezcla debe ser limpia y cumplir con ciertos requisitos de calidad para no afectar negativamente las propiedades del hormigón. Impurezas en el agua, como sales, ácidos, aceites, azúcares, u otras sustancias, pueden interferir con el proceso de hidratación del cemento, afectando la resistencia y durabilidad del hormigón. El uso de agua potable que cumple con esta norma garantiza que no haya elementos dañinos que puedan causar problemas como el retraso en el fraguado, baja resistencia a la compresión, o durabilidad reducida. Por lo tanto, la calidad del agua es un factor crucial en la producción de hormigón de alta calidad.

Estas normas técnicas ecuatorianas proporcionan un marco regulador exhaustivo y riguroso que abarca todas las etapas de la producción y el control de

calidad del hormigón. Desde la selección de los materiales, el control de la granulometría de los áridos, la producción del hormigón en estado fresco, hasta los ensayos de resistencia y los requisitos de calidad del agua de mezcla, cada norma juega un papel crucial en asegurar que el hormigón cumpla con los estándares de seguridad, durabilidad y rendimiento estructural requeridos. El cumplimiento de estas normativas es fundamental para el desarrollo de construcciones seguras, sostenibles y de alta calidad en Ecuador, alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible y eficiencia en la industria de la construcción.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. *Enfoque de la investigación*

El enfoque cuantitativo es un método de investigación que se caracteriza por el uso sistemático de la recopilación y análisis de datos numéricos para verificar hipótesis previamente formuladas, desarrollar teorías, y determinar patrones de comportamiento de los fenómenos en estudio.

Este enfoque se basa en la objetividad y la replicabilidad, utilizando técnicas estadísticas y matemáticas para analizar los datos obtenidos, lo que permite llegar a conclusiones generalizables. Según Sampieri et al. (2003), el enfoque cuantitativo se centra en la medición precisa de variables y en la búsqueda de relaciones causales o correlacionales entre ellas. La validez de los resultados depende de la rigurosidad con la que se realicen las mediciones y del control de variables externas que puedan afectar el estudio.

En el presente estudio, el enfoque cuantitativo es fundamental, ya que se utilizará para recopilar datos a través de ensayos experimentales en diversas probetas de hormigón, tanto tradicional como con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de maní (CCM) como reemplazo parcial del cemento. La metodología está diseñada para recolectar datos de manera estructurada y ordenada, siguiendo un protocolo riguroso que asegure la precisión y consistencia de los resultados.

Los ensayos en las probetas se realizarán para evaluar propiedades críticas del hormigón, como su resistencia a la compresión, durabilidad, trabajabilidad y densidad. Estos datos serán analizados utilizando métodos estadísticos que permitan comparar el desempeño del hormigón tradicional con el hormigón modificado con CCM, identificando así el efecto de este aditivo sobre las propiedades mecánicas y de durabilidad del material.

El enfoque cuantitativo también permite la modelización del comportamiento del hormigón en diferentes condiciones y con diferentes porcentajes de ceniza de

cáscara de maní, proporcionando un marco para predecir el rendimiento futuro del material en aplicaciones prácticas que describan el comportamiento del hormigón bajo distintas composiciones y condiciones de carga. Esto es esencial para validar la viabilidad del uso de ceniza de cáscara de maní como un aditivo sostenible en la construcción y para proporcionar recomendaciones basadas en evidencia para su aplicación en el sector de la construcción.

3.2. Alcance de la investigación

El presente estudio se fundamenta en el alcance experimental fundamentado en la recolección de información del material a utilizar en reemplazo del cemento y así determinar mediante fichas comparativas la capacidad mecánica de los hormigones. La metodología se implementa de manera que permita la práctica de los procesos investigativos de manera académica. Esto significa que el investigador debe comprender las metodologías, técnicas e instrumentos de la investigación científica para alcanzar los objetivos del investigador. El estudio tiene indicaciones ordenadas a seguir, las mismas que son:

- Acumular la información proveniente de estudios previamente realizados por diferentes autores en función a hormigones modificados para obtener datos vinculados a los estudios mecánicos de los mismos.
- Elaborar los ensayos de laboratorio para así obtener los resultados experimentales que logren ampliar la información acumulada, sometiendo las probetas de hormigón a las mismas condiciones para así obtener comparaciones que se asemejen a los estudios recopilados.
- Evaluar los datos obtenidos.
- Elaborar tablas comparativas, enfatizando la sintonización de la información que se obtuvo durante el progreso del presente estudio.

3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos

3.3.1. Técnica

El objetivo del presente estudio es recopilar y analizar datos de manera sistemática utilizando herramientas adecuadas que permitan entender el comportamiento del hormigón tradicional en comparación con el hormigón que

contiene diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de maní (CCM) como sustituto parcial del cemento.

Dado que se trata de un estudio cuantitativo experimental, la técnica se basa en la recolección de datos empíricos obtenidos a partir de ensayos normalizados en laboratorio. Estos ensayos permiten evaluar diversas propiedades mecánicas y físicas del hormigón, asegurando que los datos recolectados sean precisos, reproducibles y adecuados para el análisis estadístico.

Los ensayos experimentales se realizarán bajo el lineamiento de las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), que proporcionan procedimientos estándar internacionalmente reconocidos para la evaluación de materiales de construcción. En este estudio, se utilizarán principalmente dos normas ASTM específicas para evaluar los áridos y el hormigón:

ASTM C637 - Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso:

Esta norma proporciona el método para realizar el análisis granulométrico de los áridos, tanto finos como gruesos, que se utilizan en la producción de hormigón. El análisis granulométrico es fundamental para determinar la distribución de tamaño de las partículas en los áridos, lo que afecta directamente la trabajabilidad, la compactación y la resistencia del hormigón.

Se utilizarán series de tamices estándar para separar y clasificar los agregados en diferentes fracciones de tamaño, asegurando que cumplan con los requisitos de gradación especificados en la norma. El cumplimiento de esta norma es esencial para garantizar que los áridos proporcionen una buena cohesión en la mezcla de hormigón, minimizando los vacíos y optimizando las propiedades mecánicas y de durabilidad del material.

ASTM C39 - Ensayo al hormigón de resistencia a la compresión:

Esta norma describe el procedimiento para el ensayo de resistencia a la compresión del hormigón, uno de los parámetros más críticos para evaluar la calidad

del material. El ensayo se realiza en probetas cilíndricas estándar de hormigón (generalmente de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura), que son sometidas a una carga axial creciente hasta que se produce la rotura.

Los resultados obtenidos del ensayo proporcionan información sobre la capacidad de carga del hormigón y su comportamiento bajo esfuerzos de compresión. La resistencia a la compresión es un indicador clave de la calidad del hormigón y es fundamental para validar la viabilidad del uso de ceniza de cáscara de maní como aditivo sostenible.

Estos ensayos permitirán evaluar de manera integral las propiedades mecánicas del hormigón, como la resistencia a la compresión y la distribución de tamaños de los áridos, lo que es crucial para determinar la efectividad de la ceniza de cáscara de maní en el hormigón en comparación con el hormigón tradicional. La aplicación rigurosa de las normas ASTM garantiza que los resultados obtenidos sean confiables y representen adecuadamente el rendimiento del hormigón en condiciones prácticas de construcción.

3.3.2. Instrumentos

Para llevar a cabo las técnicas de obtención de datos especificadas en este estudio cuantitativo experimental, se utilizarán diversos equipos de laboratorio que son esenciales para los ensayos de análisis granulométrico de los áridos y de resistencia a la compresión del hormigón. Estos instrumentos permiten realizar mediciones precisas y controladas de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales en estudio. A continuación, se detallan los equipos que serán empleados:

Hornos de Secado: Utilizados para secar los áridos (finos y gruesos) antes de realizar el análisis granulométrico. El secado a una temperatura controlada elimina toda la humedad presente en los agregados, asegurando que el peso medido sea el del material seco. Esto es fundamental para obtener resultados precisos en el análisis granulométrico y para determinar las propiedades de absorción y contenido de humedad de los agregados.

Tamices: Un conjunto de tamices de diferentes tamaños se utilizará para realizar el análisis granulométrico de los áridos. Los tamices permiten separar y clasificar los agregados en diferentes fracciones de tamaño, lo cual es esencial para evaluar la distribución granulométrica y la adecuación de los materiales para su uso en el hormigón, según los criterios establecidos por la norma ASTM C637. Los resultados de este análisis ayudan a determinar la trabajabilidad y compacidad del hormigón.

Balanza de Precisión: Las balanzas de precisión son esenciales para medir el peso de los áridos antes y después del tamizado, así como para pesar otros componentes del hormigón, como el cemento y la ceniza de cáscara de maní (CCM). La precisión de las mediciones de peso es crucial para asegurar que las proporciones de la mezcla de hormigón sean exactas, lo que influye directamente en la calidad y consistencia de los resultados de los ensayos.

Moldes de Cilindros: Los moldes cilíndricos de acero o plástico se utilizarán para preparar las probetas de hormigón necesarias para los ensayos de resistencia a la compresión conforme a la norma ASTM C39.

Las probetas, generalmente de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, se moldean y se compactan siguiendo procedimientos estándar para garantizar que no haya segregación ni vacíos. Después de su fraguado inicial, las probetas se someten a un curado controlado antes de ser ensayadas.

Prensa Hidráulica para Ensayo de Compresión: La prensa hidráulica es el equipo principal utilizado para realizar los ensayos de resistencia a la compresión en las probetas cilíndricas de hormigón.

Este equipo aplica una carga axial creciente a las probetas hasta que se produce la rotura, permitiendo medir la resistencia máxima que puede soportar el hormigón antes de fallar. Los datos obtenidos son fundamentales para evaluar la viabilidad del uso de ceniza de cáscara de maní como aditivo y para comparar el rendimiento del hormigón modificado con el hormigón tradicional.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población en investigación es un conglomerado total de elementos que comparten similitud un parámetro común. (Velázquez, 2021)

Para nuestro estudio del análisis mecánico entre un hormigón tradicional y hormigón con adición de ceniza de cáscara de maní, será sometido al ensayo a compresión de las probetas y hacer los ensayos necesarios para probar lo que se está investigando.

Teniendo la población total del hormigón tradicional y el hormigón con adición de ceniza de cascara de maní con el 5%, 10% y 15% respectivamente.

3.4.2. Muestra

Una muestra es un subconjunto o subgrupo de la población que puede investigarse para obtener los datos de la población. (Velázquez, 2021)

Las muestras totales del proyecto con la adición de la ceniza de la cascara de maní al 5%, 10% y 15%.

Tabla 2
Muestra de probetas

		Probetas			
Porcentajes	Tradicional	5%	10%	15%	
Días					
5%	3	3	3	3	
10%	3	3	3	3	
15%	3	3	3	3	
Muestra en total		36			

Elaborado por: Cáceres y González (2024)

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

Análisis mecánico entre un hormigón tradicional y hormigón con adición de ceniza de cascara de maní.

3.5. *Presentación y análisis de resultados*

Para la presentación y análisis de resultados, se determinó realizarlo en función a los objetivos específicos.

3.5.1. *Caracterización de los materiales a emplear en hormigón mediante ensayos físicos.*

Granulometría

El análisis granulométrico del agregado fino es un proceso fundamental en la evaluación de los materiales utilizados en la mezcla de hormigón, ya que permite determinar la distribución de tamaño de las partículas que lo componen. Este análisis es crucial para garantizar que el agregado fino cumpla con las especificaciones técnicas necesarias para su uso, asegurando así una correcta dosificación de los componentes del hormigón.

Una adecuada distribución granulométrica contribuye a la trabajabilidad del hormigón en estado fresco, facilitando su colocación y compactación, y a la vez, influye en las propiedades del hormigón endurecido, como su resistencia a la compresión, durabilidad y densidad.

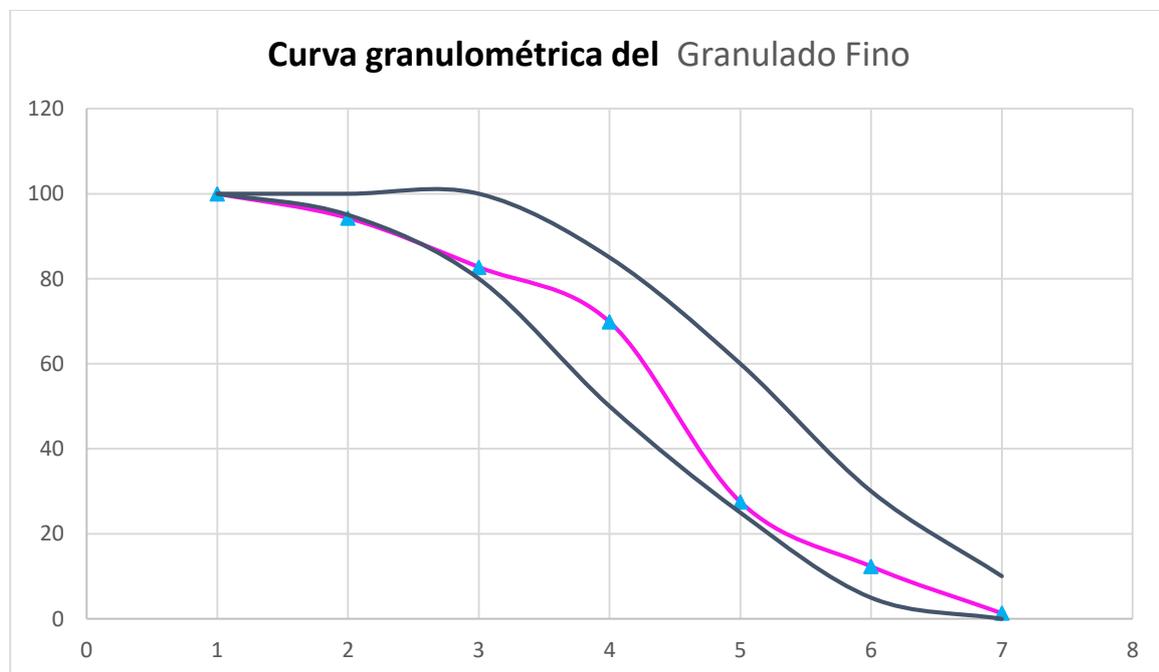
A continuación, se presenta la tabla con los resultados detallados del análisis granulométrico del agregado fino utilizado en este estudio, que proporciona información clave sobre los porcentajes de partículas que pasan a través de cada tamiz estándar, garantizando la calidad y el rendimiento del material en la mezcla de hormigón.

Tabla 3
Agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO				
TAMIZ		% Retenido	%Retenido	% Que Pasa
Nº	peso parcial (gr)		Total%	
4	66,73	66,73	5,73	94,27
8	134,97	134,97	17,28	82,72
16	150,67	150,67	39,18	69,82
30	493,4	493,4	72,41	27,59
50	178,44	178,44	89,68	12,32
100	128,49	128,49	98,68	1,32
FONDO				
PESO TOTAL (GR)	1168,41		100	

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Figura 9
Agregado fino



Elaborado: Cáceres y González (2024)

En la tabla 4, el análisis granulométrico del agregado grueso permite identificar la distribución de tamaños de las partículas en este material, lo cual es crucial para

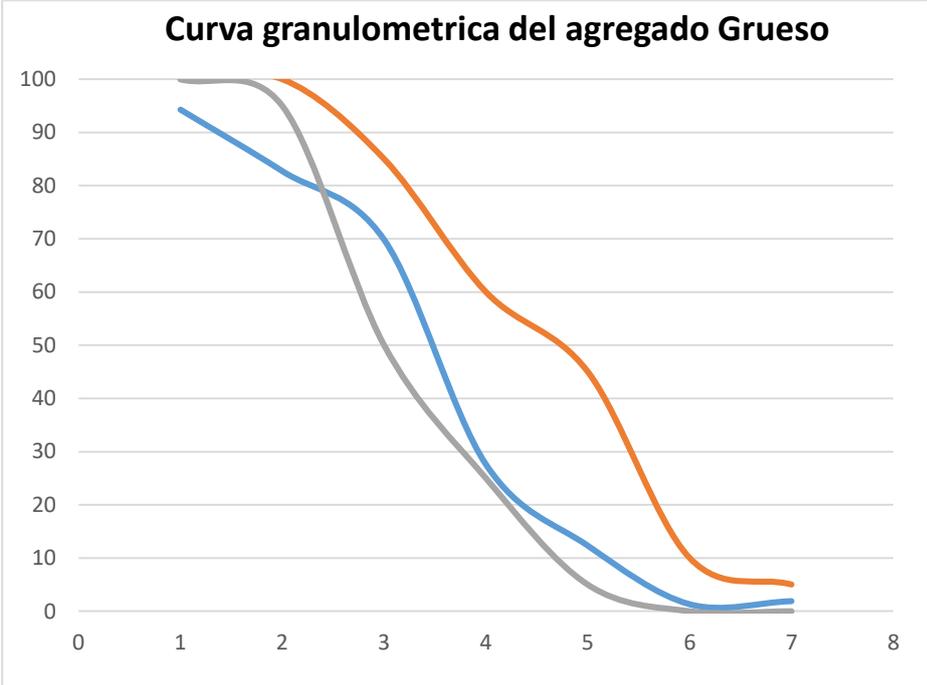
garantizar la compacidad y la resistencia del hormigón. Este análisis asegura que el agregado grueso utilizado en la mezcla cumpla con los requisitos técnicos necesarios. A continuación, se presenta la tabla que resume los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso:

Tabla 4
Agregado Grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO				
TAMIZ			% Pasa	
Nº	Pesos gr.	% Retenido		
1/2"	0	0		100,00
1	193,82	6%		94
3/4"	1214,57	37,6%		56,40
1/2"	1308,25	40,5%		15,90
3/8"	251,96	7,8%		8,1
Nº4	119,52	3,7%		4,4
Nº8	80,76	2,5%		1,9
FONDO	61,67	1,9%		0
PESO	3230,25			
TOTAL				
(GR)				

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Figura 10
Agregado grueso



Elaborado: Cáceres y González (2024)

3.5.1.1. Cemento

El cemento que se utilizó fue el HOLCIM Fuerte, el mismo que viene normado bajo la NTE INEN 152.

Figura 11
Cemento HOLCIM Fuerte



Fuente: Holcim Ecuador (2024)

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Agua potable

El agua potable debe acogerse a la norma NTE INEN 1108 donde se determinó que cumpla con su aptitud para la elaboración de las probetas de hormigón.

Agregados finos

Los agregados finos, arena unificada, se consiguieron en Calizas Huayco, donde se solicitó el análisis granulométrico, anexada al final del documento, donde se determinó que cumple con los estándares de la norma NTE INEN 872.

Para efectos de este trabajo, se realizó el análisis granulométrico en el laboratorio, donde los valores coincidieron con los de la cantera.

Agregados gruesos

Al igual que los agregados finos, este agregado se obtuvo en la misma cantera, con la denominación de Piedra #56, la cual su granulometría cumple con los valores de la norma NTE INEN 872.

3.5.2. *Determinación de las cantidades de materiales para un hormigón de 210 kg/cm² convencional y con adición de ceniza de cáscara de maní.*

La determinación de las cantidades de materiales (cemento, agua, agregado fino y agregado grueso) se determinó en función a un saco de cemento de 50Kg. Así se obtuvo las siguientes dosificaciones.

Hormigón tradicional 210Kg/cm²: Para la elaboración del hormigón tradicional con una resistencia de 210 Kg/cm², se ha determinado la dosificación específica de materiales en función de un saco de cemento de 50 kg.

Esta dosificación es crucial para asegurar la consistencia y calidad del hormigón producido, y se detalla a continuación, proporcionando las cantidades precisas de cada componente necesario para alcanzar la resistencia deseada:

Tabla 5

Dosificación hormigón 210Kg/cm² para un saco de cemento

DOSIFICACION HORMIGON 210Kg/cm² PARA UN SACO DE CEMENTO	
Material	Cantidad
CEMENTO	50 Kg
AGUA	26 l
AGREGADO FINO	100 Kg
AGREGADO GRUESO	128 Kg

Fuente: Holcim (2024)

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Hormigón con adición del 5% de ceniza de cáscara de maní

Para evaluar el impacto de la adición de ceniza de cáscara de maní en las propiedades del hormigón, se estableció una dosificación ajustada para una mezcla que reemplaza el 5% del cemento con este subproducto agrícola. La siguiente tabla presenta la dosificación específica de los materiales utilizados para un saco de cemento de 50 kg, que incluye la cantidad exacta de ceniza de cáscara de maní añadida, junto con los demás componentes necesarios para lograr un hormigón con características comparables al hormigón tradicional:

Tabla 6

Dosificación hormigón con adición de 5% de ceniza de cáscara de maní para un saco de cemento

DOSIFICACION HORMIGON CON ADICION DE 5% DE CENIZA DE CASCARA DE MANI PARA UN SACO DE CEMENTO	
CEMENTO	47,5 Kg
AGUA	26 l
AGREGADO FINO	100 Kg
AGREGADO GRUESO	128 Kg
CENIZA DE CASCARA DE MANI	2,5 Kg

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Hormigón con adición del 10% de ceniza de cáscara de maní

Para analizar el impacto del reemplazo del 10% del cemento con ceniza de cáscara de maní en la mezcla de hormigón, se diseñó una dosificación específica que ajusta las proporciones de los materiales. Esta tabla muestra los componentes y sus

cantidades precisas para un saco de cemento de 50 kg, reflejando la incorporación de 5 kg de ceniza de cáscara de maní en la mezcla.

Tabla 7

Dosificación hormigón con adición de 10% de ceniza de cáscara de maní para un saco de cemento

**DOSIFICACION HORMIGON CON ADICION DE 10% DE
CENIZA DE CASCARA DE MANI PARA UN SACO DE
CEMENTO**

CEMENTO	45 Kg
AGUA	26 l
AGREGADO FINO	100 Kg
AGREGADO GRUESO	128 Kg
CENIZA DE CASCARA DE MANI	5 Kg

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Al incrementar el porcentaje de ceniza de cáscara de maní al 15% en la mezcla de hormigón, se realizó una dosificación adaptada que optimiza los materiales empleados. La siguiente tabla detalla las cantidades exactas de cada componente necesario para un saco de cemento de 50 kg, incluyendo 7,5 kg de ceniza de cáscara de maní, y permite evaluar los efectos de esta mayor adición en las propiedades del hormigón.

Tabla 8

Dosificación hormigón con adición de 15% de ceniza de cáscara de maní para un saco de cemento

**DOSIFICACION HORMIGON CON ADICION DE 15% DE
CENIZA DE CASCARA DE MANI PARA UN SACO DE
CEMENTO**

CEMENTO	42,5 Kg
AGUA	26 l
AGREGADO FINO	100 Kg
AGREGADO GRUESO	128 Kg
CENIZA DE CASCARA DE MANI	7,5 Kg

Elaborado: Cáceres y González (2024)

3.5.3. Determinación de la resistencia a compresión del hormigón modificado con la ceniza de la cáscara de maní y del hormigón convencional.

Antes de proceder con los ensayos de resistencia a la compresión, se prepararon y curaron probetas con las dimensiones específicas para garantizar la consistencia y precisión en los resultados. Las características físicas de estas

probetas se detallan a continuación, proporcionando las bases para un análisis comparativo riguroso entre los diferentes tipos de hormigón evaluados en este estudio. A continuación, se presentan las dimensiones exactas de las probetas utilizadas:

Tabla 9
Dimensiones de probetas

<i>Dimensiones de probetas</i>	
Diámetro	10cm
Radio	5cm
Altura	20cm
Área	49,35cm ²
Volumen	986,96cm ³

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Para este apartado, y tal como se muestra en la tabla 7, las dimensiones de las probetas a usar están determinadas por un diámetro de 10cm, y una altura de 20cm.

Se diseñaron 36 probetas, las mismas que, luego de estar sumergidas en agua potable, por 7, 14 y 28 días, se sometieron a ensayo de resistencia a compresión.

Estas probetas estuvieron divididas en 9 probetas por cada tipo de hormigón diseñado, en donde se usaron 3 probetas curadas a los 7 días de hormigón tradicional, 3 probetas curadas a los 7 días del hormigón con la adición del 5%, 10% y 15% de la ceniza de la cascara de maní para poder tener un valor más aproximado a la resistencia, el mismo procedimiento se realizó con los especímenes de 14 y 28 días de curado.

Para la determinación de la resistencia, las probetas fueron sometidas a ensayos a compresión en la prensa hidráulica universal, así se obtuvo los datos que se detallaran a continuación.

Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional

Se realizaron ensayos a compresión en probetas elaboradas y curadas bajo condiciones controladas para evaluar la resistencia a compresión del hormigón tradicional. Las pruebas se llevaron a cabo a los 7, 14, y 28 días, permitiendo así un análisis comparativo del desarrollo de la resistencia con el tiempo. A continuación, se presenta la tabla con los resultados detallados de la resistencia a compresión obtenida para cada conjunto de probetas en las diferentes etapas de curado:

Tabla 10

Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional

<i>Fecha Elaboración</i>	<i>Fecha de Rotura</i>	<i>Edad en días</i>	<i>Mas</i>		<i>Carga Kg</i>	<i>Resistencia Kg/cm2</i>	
			<i>a g</i>	<i>Densidad g/cm3</i>			
11/7/2024	18/7/2024		2331	2,36	6875	139,3	
11/7/2024	18/7/2024	7	2256	2,29	6748	136,7	139, 3
11/7/2024	18/7/2024		2435	2,47	6995	141,7	
11/7/2024	25/7/2024		2369	2,40	9374	190,0	
11/7/2024	25/7/2024	14	2356	2,39	9633	195,2	193, 1
11/7/2024	25/7/2024		2567	2,60	9573	194,0	
11/7/2024	8/8/2024		2483	2,52	10978	222,5	
11/7/2024	8/8/2024	28	2493	2,53	10679	216,4	218, 6
11/7/2024	8/8/2024		2432	2,46	10702	216,9	

Elaborado: Cáceres y González (2024)

La tabla muestra la evolución de la resistencia a compresión del concreto a lo largo del tiempo, específicamente a los 7, 14 y 28 días de curado. Los valores promedio registrados son 139,23 Kg/cm², 193,07 Kg/cm², y 218,6 Kg/cm², respectivamente, lo que refleja el incremento progresivo en la resistencia conforme el concreto avanza en su proceso de fraguado y endurecimiento. Este comportamiento es típico del concreto, ya que la hidratación del cemento continúa, permitiendo la formación de productos de hidratación como el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H), que contribuye a la ganancia de resistencia del material.

Las variaciones en la masa y densidad de las muestras también se presentan de manera coherente con los incrementos en la resistencia a lo largo del tiempo, lo que indica un desarrollo continuo y uniforme en la microestructura del concreto durante el período de curado. Este aspecto es crucial, ya que una densidad adecuada y homogénea sugiere una menor porosidad, lo que a su vez está relacionado con una mayor resistencia mecánica y durabilidad. La uniformidad en el desarrollo de la resistencia y la densidad sugiere que el concreto ha sido preparado y curado de manera adecuada, garantizando su rendimiento óptimo en aplicaciones estructurales.

Resistencia a compresión de probetas de hormigón con adición al 5% de la ceniza de la cáscara de maní.

Tabla 11

Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional con adición al 5% de la ceniza de la cáscara de maní

Fecha	Fecha de	Edad en	Masa	Densidad	Carga	Resistencia	
Elaboración	Rotura	días	g	g/m3	Kg	Kg/cm2	
11/7/2024	18/7/2024		2386	2,42	6394	129,6	
11/7/2024	18/7/2024	7	2395	2,43	6329	128,3	130,2
11/7/2024	18/7/2024		2413	2,44	6547	132,7	
11/7/2024	25/7/2024		2553	2,59	8564	173,5	
11/7/2024	25/7/2024	14	2481	2,51	8743	177,2	176,4
11/7/2024	25/7/2024		2555	2,59	8803	178,4	
11/7/2024	8/8/2024		2480	2,51	10142	205,5	
11/7/2024	8/8/2024	28	2502	2,54	10201	206,7	205,6
11/7/2024	8/8/2024		2458	2,49	10089	204,4	

Elaborado: Cáceres y González (2024)

En la Tabla 11, se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional con la adición de un 5% de ceniza de cáscara de maní (CCM) como sustituto parcial del cemento. Los resultados muestran un comportamiento progresivo en el desarrollo de la resistencia a compresión a medida que las probetas de hormigón avanzan en el proceso de curado a lo largo de 7, 14 y 28 días.

A los 7 días, las probetas alcanzaron una resistencia promedio de 130,2 Kg/cm², que representa aproximadamente un 62% de la resistencia requerida para el hormigón tradicional a los 28 días. Este resultado indica que, incluso en una etapa temprana de curado, el hormigón con adición de 5% de CCM ya muestra un desarrollo

de resistencia relativamente aceptable, lo cual puede atribuirse a la capacidad de la ceniza de cáscara de maní para contribuir al proceso de hidratación inicial del cemento.

A los 14 días, las probetas registraron una resistencia promedio de 176,4 Kg/cm², lo que equivale al 84% de la resistencia objetivo. Este incremento significativo en la resistencia respecto a los 7 días refleja una continua hidratación y desarrollo de la matriz interna del hormigón. La adición de ceniza de cáscara de maní parece tener un efecto positivo en esta etapa intermedia de curado, mejorando la cohesión interna y contribuyendo a la formación de productos de hidratación adicionales que refuerzan la estructura del hormigón.

Finalmente, a los 28 días, las probetas con adición de 5% de CCM alcanzaron una resistencia promedio de 205,6 Kg/cm², representando un 97,9% de la resistencia objetivo que se esperaría para un hormigón convencional sin aditivos. Este resultado sugiere que la incorporación de ceniza de cáscara de maní no solo mantiene, sino que casi logra igualar la resistencia estándar del hormigón tradicional. La densidad de las probetas (que varía entre 2,49 g/cm³ y 2,54 g/cm³) también es consistente, lo que indica un buen nivel de compactación y una distribución uniforme de los materiales, factores que son cruciales para alcanzar un alto nivel de resistencia y durabilidad.

Resistencia a compresión de probetas de hormigón con adición al 10% de la ceniza de la cáscara de maní.

Para analizar el efecto del 10% de ceniza de cáscara de maní como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a compresión del hormigón, se realizaron ensayos similares a los aplicados en el hormigón tradicional. Las probetas fueron sometidas a pruebas de compresión a los 7, 14, y 28 días para evaluar el desarrollo de su resistencia. La siguiente tabla presenta los resultados obtenidos, permitiendo una comparación directa con el hormigón sin adiciones:

Tabla 12

Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional con adición al 10% de la ceniza de la cáscara de maní

<i>Fecha</i>	<i>Fecha de</i>	<i>Edad en</i>	<i>Masa</i>	<i>Densidad</i>	<i>Carga</i>	<i>Resistencia</i>	
<i>Elaboración</i>	<i>Rotura</i>	<i>días</i>	<i>g</i>	<i>g/cm3</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg/cm2</i>	
11/7/2024	18/7/2024		2355	2,39	5393	109,3	
11/7/2024	18/7/2024	7	2396	2,43	5403	109,5	108,6
11/7/2024	18/7/2024		2381	2,41	5280	107,0	
11/7/2024	25/7/2024		2456	2,49	7392	149,8	
11/7/2024	25/7/2024	14	2453	2,49	7482	151,6	150,8
11/7/2024	25/7/2024		2501	2,53	7457	151,1	
11/7/2024	8/8/2024		2384	2,42	8685	176,0	
11/7/2024	8/8/2024	28	2420	2,45	8749	177,3	176,9
11/7/2024	8/8/2024		2364	2,40	8752	177,4	

Elaborado: Cáceres y González (2024)

En la Tabla 12, se presentan los resultados del ensayo de resistencia a compresión de especímenes de concreto a diferentes edades de curado: 7, 14 y 28 días. Los datos incluyen la masa, densidad, carga de rotura y resistencia a compresión de cada muestra. A medida que el concreto cura, se observa un aumento en la resistencia, lo cual es consistente con el proceso de hidratación del cemento que fortalece la matriz del concreto.

A los 7 días, las muestras de concreto alcanzaron una resistencia promedio de 108,6 Kg/cm², que representa un 51,71% de la resistencia objetivo del hormigón tradicional a los 28 días. Esto indica un desarrollo inicial moderado de la resistencia, reflejando la etapa temprana del curado del concreto. Las variaciones en la masa (que oscila entre 2355 g y 2396 g) y la densidad (que varía de 2,39 g/cm³ a 2,43 g/cm³) entre las muestras son mínimas, lo que sugiere una mezcla uniforme y un proceso de curado consistente.

A los 14 días, las muestras muestran un incremento en la resistencia promedio a 150,8 Kg/cm², representando aproximadamente un 72% del desarrollo total esperado para el hormigón tradicional a 28 días.

Este incremento significativo respecto a los 7 días demuestra la progresión típica del concreto en esta etapa, donde la mayor parte de la resistencia se desarrolla antes de los 28 días.

Finalmente, a los 28 días, las muestras alcanzan una resistencia promedio de 176,9 Kg/cm², que, aunque refleja un desarrollo continuo, indica una reducción significativa en comparación con la resistencia que se esperaría en un hormigón tradicional que generalmente supera los 250 Kg/cm².

La densidad de las muestras a los 28 días varía ligeramente (entre 2,40 g/cm³ y 2,45 g/cm³), lo que también apunta a una compactación relativamente uniforme, aunque no alcanza los niveles óptimos de densidad para un concreto de alta resistencia.

Resistencia a compresión de probetas de hormigón con adición al 15% de la ceniza de la cáscara de maní.

Para evaluar el impacto de una adición del 15% de ceniza de cáscara de maní (CCM) en la resistencia a compresión del hormigón, se realizaron ensayos específicos en probetas preparadas con esta mezcla.

Estos ensayos fueron diseñados para analizar cómo la incorporación de una mayor proporción de ceniza de cáscara de maní, utilizada como sustituto parcial del cemento, afecta las propiedades mecánicas del hormigón, especialmente su resistencia y durabilidad. Las pruebas se llevaron a cabo en intervalos de 7, 14 y 28 días de curado, que son momentos clave para evaluar el desarrollo de la resistencia del hormigón.

A los 7 días, las probetas con 15% de CCM mostraron una resistencia a compresión inicial significativamente menor en comparación con las mezclas tradicionales, lo que sugiere que la menor cantidad de cemento disponible para la hidratación afecta el desarrollo temprano de la resistencia.

A los 14 días, aunque se observó un incremento en la resistencia, esta siguió siendo inferior a la del hormigón sin adiciones, lo que refleja que la reacción puzolánica de la ceniza de cáscara de maní no logra compensar completamente la reducción de cemento en esta etapa.

A los 28 días, que es el tiempo estándar para evaluar la resistencia máxima del hormigón en la mayoría de las aplicaciones estructurales, las probetas con un 15% de CCM mostraron una mejora en la resistencia a compresión en comparación con las etapas anteriores, pero no alcanzaron los niveles esperados para el hormigón tradicional.

Tabla 13

Resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional con adición al 15% de la ceniza de la cáscara de maní

<i>Fecha Elaboración</i>	<i>Fecha de Rotura</i>	<i>Edad en días</i>	<i>Masa g</i>	<i>Densidad g/cm3</i>	<i>Carga Kg</i>	<i>Resistencia Kg/cm2</i>	
11/7/2024	18/7/2024		2372	2,40	4783	96,9	
11/7/2024	18/7/2024	7	2384	2,42	4792	97,1	97,1
11/7/2024	18/7/2024		2401	2,43	4801	97,3	
11/7/2024	25/7/2024		2435	2,47	5492	111,3	
11/7/2024	25/7/2024	14	2352	2,38	5388	109,2	109,6
11/7/2024	25/7/2024		2421	2,45	5342	108,3	
11/7/2024	8/8/2024		2298	2,33	7802	158,1	
11/7/2024	8/8/2024	28	2304	2,33	7758	157,2	158,0
11/7/2024	8/8/2024		2332	2,36	7836	158,8	

Elaborado: Cáceres y González (2024)

En la Tabla 13, se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de probetas de hormigón tradicional con la adición de un 15% de ceniza de cáscara de maní (CCM) como sustituto parcial del cemento. Los resultados

muestran un comportamiento de la resistencia a compresión que refleja una reducción significativa en comparación con el hormigón tradicional, debido a la menor proporción de cemento en la mezcla.

A los 7 días, las probetas con adición de 15% de CCM alcanzaron una resistencia promedio de 97,1 Kg/cm², lo que representa solo un 46,24% de la resistencia objetivo que se esperaría en un hormigón sin aditivos. Este valor es considerablemente bajo, lo que indica que la reducción del contenido de cemento afecta de manera significativa el desarrollo inicial de la resistencia del hormigón. La menor cantidad de cemento disponible para la hidratación probablemente resultó en una formación insuficiente de productos de hidratación, como el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H), que son fundamentales para la resistencia del hormigón.

A los 14 días, las probetas mostraron un leve incremento en la resistencia, alcanzando un promedio de 109,6 Kg/cm², lo que equivale a un 52,19% de la resistencia esperada para el hormigón tradicional a esta edad de curado. Aunque se observa un incremento respecto a los 7 días, este valor sigue siendo bajo en comparación con las expectativas para el hormigón sin aditivos. Este bajo desarrollo de resistencia podría estar relacionado con la incapacidad de la ceniza de cáscara de maní para compensar completamente la reducción de cemento en esta fase de curado.

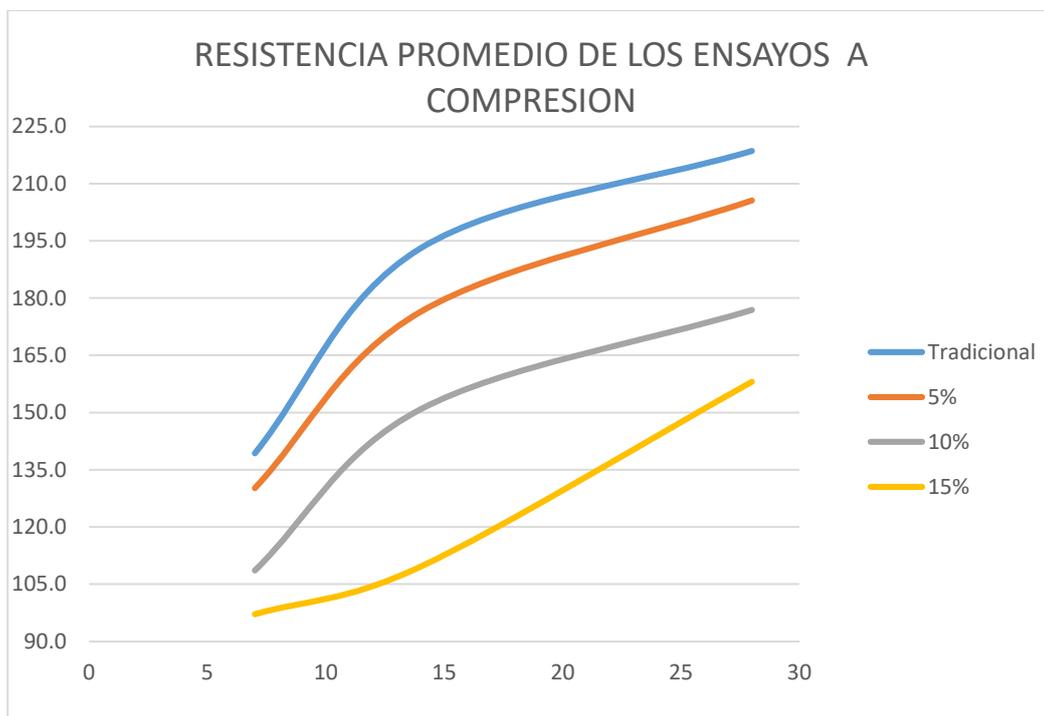
Finalmente, a los 28 días, las probetas con adición de 15% de CCM alcanzaron una resistencia promedio de 158 Kg/cm², lo que representa un 75,24% de la resistencia objetivo. Aunque se nota un incremento significativo en la resistencia en comparación con las etapas anteriores, el valor obtenido sigue siendo considerablemente inferior al del hormigón tradicional que no incluye aditivos. Este resultado sugiere que, aunque la ceniza de cáscara de maní tiene algunas propiedades puzolánicas, la sustitución del 15% del cemento con este material no es suficiente para alcanzar la resistencia necesaria para aplicaciones estructurales exigentes.

3.5.4. Comparación de los resultados de resistencia a compresión de los hormigones ensayados y sus costos.

El gráfico adjunto muestra la resistencia promedio de los ensayos a compresión para las diferentes mezclas de hormigón evaluadas: hormigón tradicional y hormigón con adiciones de 5%, 10%, y 15% de ceniza de cáscara de maní. Los valores se presentan para tres etapas de curado: 7, 14, y 28 días.

Figura 12

Resistencia promedio de los ensayos a compresión



Elaborado: Cáceres y González (2024)

En la figura 12, se determina las resistencias promedio de los 4 especímenes de hormigón diseñado, obteniendo en el tradicional los valores promedios de este hormigón a los 7, 14 y 28 días de curado.

En los hormigones con la adición del 5% de la ceniza de la cáscara de maní, se obtuvieron valores similares a los de un hormigón tradicional de 210 Kg/cm².

En los hormigones con la adición del 10% de la ceniza de la cáscara de maní, se obtuvieron valores con un 22% por debajo de un hormigón tradicional de 210 Kg/cm².

Costos de hormigón

Para evaluar la viabilidad económica de las mezclas de hormigón utilizadas en este estudio, se realizó un análisis de costos detallado de los materiales empleados en la fabricación del hormigón tradicional. Este análisis es fundamental para comparar no solo las propiedades mecánicas, sino también el impacto económico de incorporar ceniza de cáscara de maní en las mezclas. A continuación, se presenta el desglose de costos por metro cúbico para el hormigón tradicional con una resistencia de 210 Kg/cm²:

Tabla 14

Costo m³ hormigón tradicional

Hormigón tradicional 210 Kg/cm ²	
Materiales	Precio por m ³
Cemento	\$65,85
Arena	\$5,38
Piedra	\$12,10
Agua	\$1,00
TOTAL	\$84,33

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Se realizó un análisis exhaustivo de los costos de los materiales por metro cúbico para determinar si era rentable agregar un 5% de ceniza de cáscara de maní a la mezcla de hormigón. Este análisis es fundamental para evaluar el impacto económico de la adición de este subproducto agrícola en la producción de hormigón.

A continuación, en la tabla 15 se presenta la tabla con el costo total de los materiales necesarios para un metro cúbico de hormigón con la mencionada adición:

Tabla 15

Costo m3 hormigón con adición del 5% de ceniza de cáscara de maní

Hormigón con adición del 5% de ceniza de cáscara de maní	
Materiales	Precio por m3
Cemento	\$62,56
Arena	\$5,38
Piedra	\$12,10
Agua	\$1,00
Ceniza de cáscara de maní	\$10,50
TOTAL	\$91,54

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Es fundamental determinar cómo este cambio afecta el costo total del hormigón por metro cúbico a medida que aumenta la proporción de ceniza de maní al 10%. Este análisis proporciona una visión clara de los costos asociados con la reducción del contenido de cemento y la adición de ceniza, lo que permite comparar la viabilidad económica con otras mezclas. A continuación, se detalla en la tabla 16, el costo de los materiales para esta composición específica:

Tabla 16

Costo m3 hormigón con adición del 10% de ceniza de cáscara de maní

Hormigón con adición del 10% de ceniza de cáscara de maní	
Materiales	Precio por m3
Cemento	\$59,27
Arena	\$5,38
Piedra	\$12,10
Agua	\$1,00
Ceniza de cáscara de maní	\$21,00
TOTAL	\$98,75

Elaborado: Cáceres y González (2024)

Con un incremento al 15% de ceniza de cáscara de maní en la mezcla de hormigón, se vuelve aún más importante considerar los costos económicos. Este análisis permite identificar el punto en el que los beneficios potenciales de

sostenibilidad deben equilibrarse con el costo de los materiales. A continuación, se presenta la tabla 17.

Tabla 17

Costo m3 hormigón con adición del 15% de ceniza de cáscara de maní

Hormigón con adición del 15% de ceniza de cáscara de maní	
Materiales	Precio por m3
Cemento	\$55,97
Arena	\$5,38
Piedra	\$12,10
Agua	\$1,00
Ceniza de cáscara de maní	\$31,50
TOTAL	\$105,95

Elaborado: Cáceres y González (2024)

CONCLUSIONES

En el presente estudio, se desarrolló un hormigón tradicional con una resistencia de diseño de 210 kg/cm², al que se incorporó ceniza de cáscara de maní como aditivo parcial del cemento. Este enfoque surge del interés por encontrar soluciones sostenibles en la construcción mediante la reutilización de residuos agroindustriales, reduciendo así el impacto ambiental y promoviendo la economía circular. El objetivo principal del trabajo fue analizar el comportamiento mecánico de este hormigón modificado, utilizando un material reciclado e innovador, cumpliendo con el primer objetivo específico del estudio.

Para lograrlo, se llevó a cabo una caracterización detallada de los materiales utilizados, mediante ensayos físicos estandarizados que incluyeron pruebas de granulometría, absorción de agua, módulo de finura, densidad aparente, y propiedades del cemento como la finura y el tiempo de fraguado. Cada uno de estos ensayos es fundamental para entender cómo las propiedades físicas de los materiales influyen en el comportamiento del hormigón, asegurando que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para su uso en aplicaciones estructurales. Además, se evaluaron las propiedades químicas y físicas de la ceniza de cáscara de maní, un subproducto de la industria agrícola que, por sus características puzolánicas, puede ser utilizado como un reemplazo parcial del cemento. Se analizó su composición química para verificar la presencia de sílice reactiva y otras propiedades que pudieran influir en las reacciones de hidratación del cemento y, por ende, en las propiedades mecánicas del hormigón.

En cuanto al segundo objetivo específico, se establecieron las proporciones óptimas de materiales tanto para el hormigón convencional como para el modificado con ceniza de cáscara de maní. Para ello, se siguieron estrictamente las guías y normas de la industria de la construcción, como las especificaciones de ACI (American Concrete Institute) y las normas ASTM (American Society for Testing and Materials). Se diseñaron mezclas con proporciones precisas de cemento, agregados gruesos y finos, agua, y diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de maní (5%, 10%, y 15%), asegurando que el hormigón resultante pudiera cumplir con los requisitos de resistencia a compresión, durabilidad, y trabajabilidad. Este proceso permitió optimizar la mezcla para lograr un equilibrio entre las propiedades mecánicas del hormigón y la

sostenibilidad ambiental al reducir el uso de cemento, cuyo proceso de fabricación es altamente intensivo en emisiones de CO₂.

Para abordar el tercer objetivo específico, se llevaron a cabo pruebas de resistencia a compresión en 36 probetas de hormigón, curadas en diferentes periodos de tiempo (7, 14, 28 días) para evaluar el desarrollo de la resistencia a lo largo del tiempo. Los resultados de estas pruebas indicaron que la adición del 5% de ceniza de cáscara de maní permitió alcanzar el 97,9% de la resistencia a compresión del hormigón tradicional a los 28 días, lo que confirma su viabilidad como sustituto parcial del cemento sin comprometer significativamente la resistencia mecánica. Sin embargo, las mezclas que incorporaron un 10% y 15% de ceniza mostraron una reducción significativa en la resistencia, alcanzando solo el 84,23% y 75,27% respectivamente a los 28 días. Esta disminución en la resistencia se debe posiblemente a una menor cantidad de material cementante disponible para reaccionar durante la hidratación, lo que afecta negativamente la formación de productos de hidratación que contribuyen a la resistencia del hormigón.

Finalmente, en el contexto del cuarto objetivo específico, se realizaron comparaciones detalladas entre los resultados de resistencia a compresión de los diferentes hormigones ensayados y sus costos de producción. Esta evaluación de costos incluyó tanto el costo de los materiales como los posibles ahorros en emisiones de carbono y consumo energético derivados del uso de ceniza de cáscara de maní en lugar de cemento Portland. Los resultados indicaron que la incorporación de ceniza de cáscara de maní en porcentajes iguales o inferiores al 5% es viable no solo desde el punto de vista técnico, manteniendo las propiedades mecánicas del hormigón, sino también desde el punto de vista económico y ambiental. Sin embargo, se concluye que adiciones superiores a este porcentaje no son recomendables, ya que comprometen significativamente la resistencia y durabilidad del hormigón, reduciendo así su viabilidad para aplicaciones estructurales que requieren alta resistencia, como columnas, vigas, y losas de edificaciones.

RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar la incorporación de ceniza de cáscara de maní como aditivo en los hormigones tradicionales, especialmente para aquellos estudiantes e investigadores interesados en explorar el uso de materiales reciclados e innovadores en la construcción. Los hallazgos de este estudio indican que la adición de hasta un 5% de ceniza de cáscara de maní puede mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, cumpliendo con los estándares de resistencia y durabilidad exigidos por las normativas de construcción. Esta mejora puede atribuirse a las propiedades puzolánicas de la ceniza, que reaccionan con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando compuestos adicionales que fortalecen la matriz del hormigón. Sin embargo, para asegurar la eficacia de este material en diversas condiciones ambientales y en distintos contextos constructivos, es necesario realizar pruebas adicionales, como ensayos de durabilidad bajo condiciones extremas (ciclos de congelación y deshielo, exposición a sulfatos o cloruros) y pruebas de resistencia a largo plazo, que evalúen el comportamiento del hormigón modificado en situaciones reales de exposición.

Además, sería valioso realizar un análisis químico detallado de la ceniza de cáscara de maní utilizada, que permita identificar los componentes específicos que contribuyan a la mejora de las propiedades del hormigón. Por ejemplo, se podría investigar la presencia de óxidos de silicio, aluminio y otros compuestos activos, que son conocidos por su capacidad para reaccionar positivamente con los componentes del cemento, promoviendo la formación de productos cementantes que mejoran la resistencia y durabilidad del material. Este análisis no se realizó en el presente estudio, pero podría ser crucial para entender mejor los mecanismos de acción de la ceniza como aditivo y optimizar su uso. Asimismo, una comprensión más profunda de la química de la ceniza podría abrir la puerta a la modificación de sus características a través de tratamientos térmicos o químicos para potenciar su eficacia en diferentes aplicaciones de construcción.

Para ampliar las opciones sostenibles en el sector de la construcción, también se recomienda explorar el uso de otros tipos de aditivos reciclados o cenizas provenientes de diferentes residuos agrícolas, como la ceniza de cáscara de arroz o el bagazo de caña de azúcar. Estos materiales, al igual que la ceniza de cáscara de

maní, podrían tener propiedades puzolánicas y contribuir a mejorar las características del hormigón, ofreciendo beneficios similares o incluso superiores. La diversificación en el uso de estos aditivos reciclados no solo promueve la economía circular y la gestión sostenible de residuos, sino que también podría conducir al desarrollo de hormigones de alto rendimiento con menores impactos ambientales. Esta exploración podría incluir comparaciones entre diferentes tipos de cenizas, así como la combinación de varios aditivos para obtener mezclas de hormigón optimizadas que maximicen tanto la resistencia como la sostenibilidad.

Finalmente, esta investigación puede servir de base para estudios más amplios que busquen optimizar el uso de residuos agrícolas en la elaboración de hormigones. Se sugiere que futuros estudios también consideren la implementación de pruebas de durabilidad y comportamiento en ambientes agresivos, como áreas costeras o industriales, donde la exposición a agentes corrosivos podría afectar el rendimiento del hormigón. Además, sería importante realizar una evaluación del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del hormigón modificado, considerando factores como la reducción de emisiones de CO₂, el consumo de energía, y la disminución de desechos. Este enfoque holístico contribuiría a promover prácticas de construcción más sostenibles, alineadas con los objetivos globales de desarrollo sostenible y reducción de la huella ecológica del sector de la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Vera, M. E., & Torres Abad, A. J. (2024). Diseño de un bloque de mampostería con base en las fibras de algodón y bagazo de caña. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/7181>
- Alvarez Quispe, C. D., & Orado Paredes, A. Y. (2023). Influencia de la Sustitución Porcentual del Cemento por Ceniza de Cáscara de Arroz en Propiedades Físico-Mecánicas del Concreto -2023. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 6246-6261. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7409
- Álvarez-Cedeño, F. J., Zambrano-Chavarría, J. D., & Egeuz-Álava, H. E. (2023). Adición de puzolana natural (diatomita) para mejorar la resistencia en mortero estructural. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 14-29. doi:<https://doi.org/10.46296/ig.v6i11edespmar.0091>
- Arbeláez Pérez, O. F., Delgado Varela, K. A., & Castaneda Mena, J. D. (2023). Efecto de la incorporación de ceniza de bagazo de caña en las propiedades mecánicas y las emisiones de dióxido de carbono del hormigón preparado con residuos de vidrio. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 62(5), 443-451. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2022.08.001>
- Ayala-López, J. E., Gil-Ahumada, E., Cornejo-Ramos, R. D., & Muñoz-Pérez, S. P. (2022). Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados: una revisión literaria. *TecnoLógicas*, 25(53). doi:<https://doi.org/10.22430/22565337.2080>
- Bajaña Martínez, W. S. (2022). Características técnicas de mezcla de mortero utilizando ceniza volcánica y mortero utilizando hormigón reciclado. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5403>
- Barreto Sandoval, G. F., Mota, L., Pieralisi, R., & De Souza Risson, K. D. (2023). Influence of coarse aggregate granulometry on clogging in pervious concrete.

Revista ingeniería de construcción, 38(2), 198-204.
doi:<https://dx.doi.org/10.7764/ric.00062.21>

Burgos García, D. E., & Chávez Castillo, Á. A. (2022). Características mecánicas del hormigón tradicional y hormigón no tradicional con agregado de fibra de acero. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5740>

Cabezas, G. M. (2019). Diseño de una losa de hormigón liviano de poliestireno expandido reciclado modificado. *Revista Ingeniería*, 3(6), 110–126. doi:<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v3i6.37>

Caicedo Ayala, A. M. (2024). Elaboración de un panel tradicional de hormigón adicionando cenizas de cáscara de cacao. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/7250>

Camarena Flores, A., & Díaz Garamendi, D. (2022). Análisis comparativo de la resistencia a la compresión, flexión y trabajabilidad del concreto tradicional versus un concreto utilizando escoria de acero como agregado fino. *Revista Gaceta Técnica*, 23(1), 20-34. doi:<https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.3>

Cantos Guamán, J. A., & Cárdenas Véliz, E. J. (2021). Análisis comparativo de las características constructivas del mortero convencional con mortero a base de cenizas de cáscara de maní y fibra de polipropileno en enlucidos. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4232>

Carpio Vilema, C. E., & Villon de la Cruz, L. A. (2023). Diseño de un prototipo de bloque estructural utilizando ceniza de hoja de plátano y fibra del tallo de la planta del plátano. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6053>

Cobos Sáenz de Viteri, L. A. (2021). Comparativo de las propiedades mecánicas del concreto con fibras de PET reciclado y concreto con fibras de acero. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4747>

Constitución de la República del Ecuador. (2021, 25 de Enero). *Art. 14 [Titulo I]*. Registro Oficial. Obtenido de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Constitución de la República del Ecuador. (2021, 25 de Enero). *Art. 408 [Titulo VII]*. Registro Oficial. Obtenido de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Constitución de la República del Ecuador. (2021, 25 de Enero). *Artículo 30 [Titulo II]*. Registro Oficial. Obtenido de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Constitución de la República del Ecuador. (2021, 25 de Enero). *Artículo 31 [Titulo II]*. Registro Oficial. Obtenido de https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Crespo Escobar, S. (2010). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. España: Editorial Club Universitario.

Cuadrado Ayala, D. G. (2022). *Características mecánicas del hormigón tradicional y no tradicional agregando cáscara de cereales*. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5831>

De la Cruz Vásquez, B. S., & Lazo Acosta, J. E. (2023). *Comportamiento del concreto sustituyendo ceniza de cáscara de maní y adicionando fibra de sisal*. (tesis de grado, Universidad Señor de Sipán).

Díaz Carrillo, E. X. (2019). *Estudio de hormigón hidráulico utilizando la ceniza de bagazo de la caña de azúcar, como sustitutivo del árido fino*. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/3273>

- Do Lago Helene, P. R. (2017). *Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*. Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Duran, G. I. (2024). Muro de contención de hormigón ciclópeo “Puente Gral. Manuel Arias”. (tesis de grado, Universidad de la Fraternidad de agrupaciones Santo Tomás de Aquino). Obtenido de <http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/handle/123456789/2092>
- Fiallos-Lezcano, J. A., Rodríguez-Veliz, M. M., & Guerra-Mera, J. C. (2024). Incidencia de la relación agua cemento en la resistividad del hormigón. *Polo del Conocimiento*, 9(2), 710-724.
- Fioriti, C., Segantini, R., Pinheiro, J., Akasaki, J., & Spósito, F. (2020). Bloques de mampostería de hormigón liviano fabricados con caucho de neumáticos y metacaolín. *Revista ingeniería de construcción*, 35(3), 295-307. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000300295>
- Heras Vargas, G. A., & Paredes Romero, C. P. (2022). Diseño de un prototipo de bloque utilizando concha de manglar y ceniza de cáscara de maní como agregado para mampostería en edificaciones. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5654>
- Hernández-Doria, E., & Rojas-Montañez, J. P. (2022). Estudio de la resistencia a la compresión del concreto, con vidrio molido reciclado como sustituto parcial del agregado fino. (tesis de grado, Universidad Católica de Colombia). Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/27150>
- Intriago Pita, D. D., & Quiroz Mendoza, B. A. (2022). Características mecánicas del hormigón tradicional y hormigón con ceniza volcánica y fibra de vidrio. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5743>
- Jhayya Perlaza, L. G. (2022). Comportamiento a compresión de hormigón con ripio. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte).

- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2018). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois: Portland Cement Association.
- Lara Pérez, R. A., & Mejía Lema, N. F. (2022). Prototipo de bloque utilizando viruta de madera, fibra de plástico de sorbete reciclado, ceniza volcánica para paredes en edificaciones. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5635>
- León Consuegra, L., & Rodríguez García, C. (2022). Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 16(3), 1-11. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193972950003>
- León Vélez, A. E. (2017). *Determinación de la energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento - [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28602>
- Mendoza Veliz, D. J. (2020). "Utilización del hongo *Pleurotus eryngii* en la biodegradación de tres residuos de cosecha para la obtención de abonos orgánicos en la zona de Mocache". (tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo).
- Mendoza, I., & Chávez, S. (2017). Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo. *Revista de ingeniería civil*, 1(2), 9-14.
- Merino Maldonado, D. (2024). Protección superficial del hormigón reciclado mediante la biodeposición de sílice biogénica. (tesis doctoral, Universidad de León). Obtenido de <https://hdl.handle.net/10612/19913>
- Mimbrero, D. (30 de octubre de 2023). *Reducción de la huella de carbono en la construcción con hormigón*. Obtenido de Tectónica: <https://tectonica.archi/articulos/reduccion-de-la-huella-de-carbono-en-la-construccion-con-hormigon/>
- Morán Bolaños, N. N. (2021). Comportamiento agronómico del cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.) con aplicación de microorganismos benéficos

- (Micorrizas y Rizobacterias). (tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí).
- Morán Cabré, F., Jiménez Montoya, P., & García Meseguer, A. (2000). *Hormigón armado*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.L.
- Morán Menéndez, A. M. (2021). Revisión bibliográfica sobre la escoria de acería como complemento del cemento hidráulico Holcim Fuerte. (tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí). Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2999>
- Olivera Pérez, Y. I., Guevara Saravia, S. P., & Muñoz Pérez, S. P. (2022). Revisión sistemática de la literatura sobre la mejora de las propiedades mecánicas del hormigón con fibras de origen artificial-natural. *Ingeniería*, 27(2). doi:<https://doi.org/10.14483/23448393.18207>
- Parrales-Espinales, V. J., Chilingua-Lago, B., & Guerra-Mera, J. C. (2023). Composición de mezclas de agregados gruesos y finos en la resistencia a la compresión y porosidad del hormigón. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 8(11), 600-613.
- Paucar Pivaque, C. J., & Vera Hilaca, C. D. (2022). Diseño de un prototipo de bloque alivianado utilizando arena volcánica, policarbonato y ceniza del bagazo de la caña de azúcar. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4983>
- Pin Chica, J. M. (2023). Diseño de hormigones de alta resistencia y su influencia en la durabilidad, utilizando agregados de la cantera Megarok Chorrillo. (tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí).
- Pinzón Galvis, S. (2022). CONCRETO MODIFICADO CON VIDRIO MOLIDO RECICLADO. *In Actas del Congreso de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 346-351. doi:<https://doi.org/10.47300/actasidi-unicyt-2022-51>
- Ponce López, E. P., & Ricardo Pozo, V. A. (2023). Estudio comparativo entre el hormigón de fibra de celulosa de papel reciclado y el hormigón con ceniza de caña de azúcar, para construcción de pisos en viviendas eco amigables en la

- provincia de Santa Elena. (tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena). Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10571>
- Resano, D., Guillen, O. W., Ubillús, F. D., & Barranzuela, J. L. (2022). Caracterización físicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Información tecnológica*, 33(2), 247-258. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200247>
- Robayo Sarmiento, M. C. (2022). Hormigón con fibra de acero y caucho reciclado para mitigación ambiental en el sector de la construcción de Guayaquil. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5289>
- Román Vincés, P. V. (2019). Prototipo de piso decorativo para vivienda de interés social con argamasa del terreno y cemento. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2540>
- Ron Romero, G. A. (2023). Elaboración de ficha técnica para el análisis comparativo de elementos de hormigón con agregados alternativos (Bachelor's thesis. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6642>
- Rosero Ríos, J. G. (2018). Proceso de reciclaje de la cáscara de maní para la fabricación e implementación de ladrillos en mamposterías no portantes. (tesis de grado, Universidad de las Américas).
- Ruiz Muñoz, s. J. (2022). Propuesta de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz para impermeabilización de estructuras de hormigón armado. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5695>
- Salinas Villegas, E. X., Vélez Niacato, A. M., Espín Lagos, S. M., & Freire Romero, D. R. (2023). Hormigón fresco y su incidencia en sus propiedades físicas y mecánicas. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 4(2), 5098–5110. doi:<https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.959>

- Salinas Villegas, E. X., Vélez Niacato, A. M., Espín Lagos, S. M., & Freire Romero, D. R. (2023). Hormigón fresco y su incidencia en sus propiedades físicas y mecánicas: Fresh concrete and its impact on its physical and mechanical properties. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). doi:<https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.959>
- Sampieri Hernández, R., Collado Fernández, C., & Lucio Baptista, P. (2003). Obtenido de <https://metodos-comunicacion sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/219/2014/04/Hernandez-Sampieri-Cap-1.pdf>
- Sarta Forero, H. N., & Silva Rodríguez, J. L. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL CONCRETO SIMPLE Y EL CONCRETO [Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10983/14513>
- Tari Zambrano, M. F. (2023). Propuesta de las etapas y elementos necesarios a considerar para el uso de prefabricados pesados de hormigón en la construcción en faenas mineras. (tesis de grado, Universidad e Chile). Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/194622>
- Vanegas Montaña, D., & Orrego Álvarez, X. A. (2023). Evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón modificado con residuos de aislantes cerámicos eléctricos como sustitutos de los agregados finos, y cemento. (tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12494/53864>
- Vásconez Vásconez, A. A., & Viña Buestán, M. O. (2022). Bloque de hormigón reforzado con fibras de coco y cáscara de maní. (tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte). Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5592>
- Velázquez, A. (s.f.). *QuestionPro*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/diferencia-entre-poblacion-y-muestra/>
- VÉLEZ, A. E. (2017). Obtenido de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28602/1/ARTICULO_CIENTIFICO_ANA_LEON.pdf

Véliz Aguayo, A. C., Herrera Brunett, G. A., Ramírez Palma, R. I., & Salvatierra Barzola, M. (2023). El hormigón celular: análisis y difusión a nivel industrial en el Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 10(1), 53-68. doi:<https://doi.org/10.26423/rctu.v10i1.676>

Zambrano Navarrete, L. D., Alava Santos, R. J., Ruíz Párraga, W. E., & Menéndez Menéndez, E. A. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta técnica*, 23(1), 35-47. doi:<https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>

ANEXOS

Anexo 1.

Certificado del Laboratorio de Suelos y Materiales Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli



Universidad de Guayaquil

Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas

CERTIFICADO DE ASISTENCIA

El Laboratorio de Suelos y Materiales Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli, adscrito a la **Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil**, certifica que:

Celia Stefania González Cárdenas y Jonathan Eduardo Cáceres Encalada, han participado activamente en las pruebas y ensayos realizados en nuestras instalaciones, cumpliendo con los procedimientos requeridos para el desarrollo de su investigación y demostrando un alto grado de responsabilidad y compromiso.

Los ensayos se llevaron a cabo bajo la supervisión del personal del laboratorio, contribuyendo al avance de su proyecto relacionado con la determinación de las propiedades mecánicas de hormigones modificados con ceniza de cáscara de maní.

Se expide el presente certificado en Guayaquil, a los 07 días del mes de Agosto del año 2024.



Ing. Milton Alfonzo Córdova
Responsable del Laboratorio de Suelos y Materiales
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil

Anexo 2

Ensayo granulométrico del agregado fino

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas

Fecha: _____

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

Proyecto: Análisis volumétrico entre un Hormigón tradicional y Hormigón con adición casera de masilla

Muestra: _____ Fuente del Material: _____

Descripción del material: _____

Tamiz	Peso Parcial grs.	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Especificación A.S.T.M.
3/8"	0	0	0	100	100
N° 4	66,73	66,73	3,73	94,27	95-100
N° 8	134,97	134,97	17,23	82,72	80-100
N° 16	150,67	150,67	39,18	69,82	50-85
N° 30	493,40	493,40	72,41	27,59	25-60
N° 50	178,44	178,44	89,68	12,32	10-30
N° 100	123,49	123,49	96,68	1,32	2-10
Fondo	15,47	15,47	100,00	0,00	0
TOTAL	1168,41	1168,41			

Densidad Saturada Superficialmente Seca: _____

Peso Volumétrico húmedo: _____ Módulo de finura: _____

Anexo 3

Ensayo granulométrico del agregado grueso



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

Laboratorio Ing. Dr. Arnaldo Ruffilli

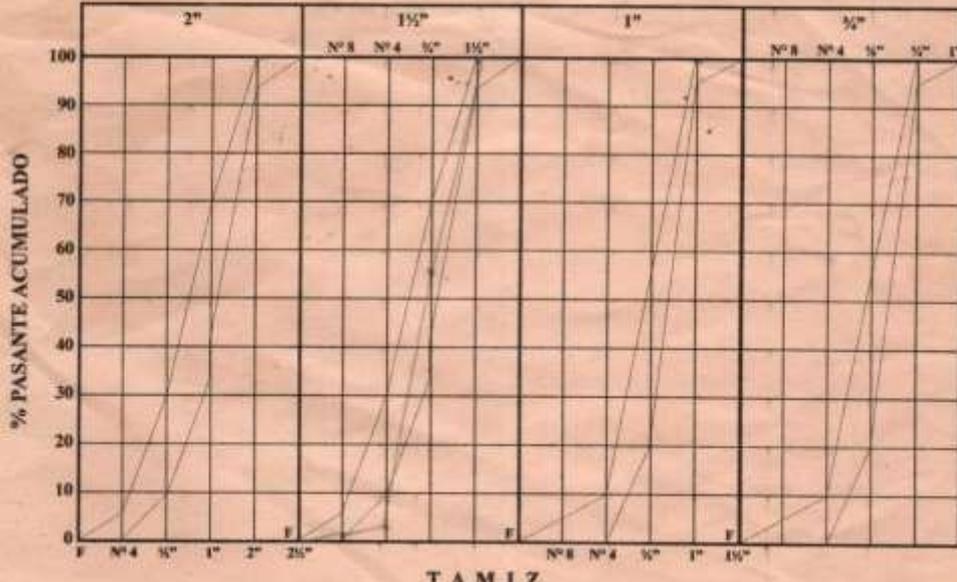
ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

Proyecto Tesis Fecha 10-11-2021

Muestra Fuente del material Cemento Huancayo

Descripción del material arena #1

Tamiz	Peso parcial grs.	% Retenido	% Que pasan	Especificaciones A.S.T.M.			
				2"	1½"	1"	¾"
2½"				100	—	—	—
2"				95-100	100	—	—
1½"	0	0%	100%	—	95-100	100	—
1"	193,82	6%	94%	35-70	—	95-100	100
¾"	1214,57	37,6%	62,40%	—	35-70	—	90-100
½"	1308,75	40,5%	59,50%	10-30	—	25-60	—
3/8"	251,96	7,5%	92,5%	—	10-30	—	20-5
Nº 4	119,52	3,7%	96,3%	0-5	0-5	0-10	0-10
Nº 8	80,76	2,5%	97,5%	—	—	0-5	0-5
Fondo	611,77	1,9%	98,1%				
TOTAL	3230,25						



T A M I Z

D.s.s.s. P.v.v. P.v.s.

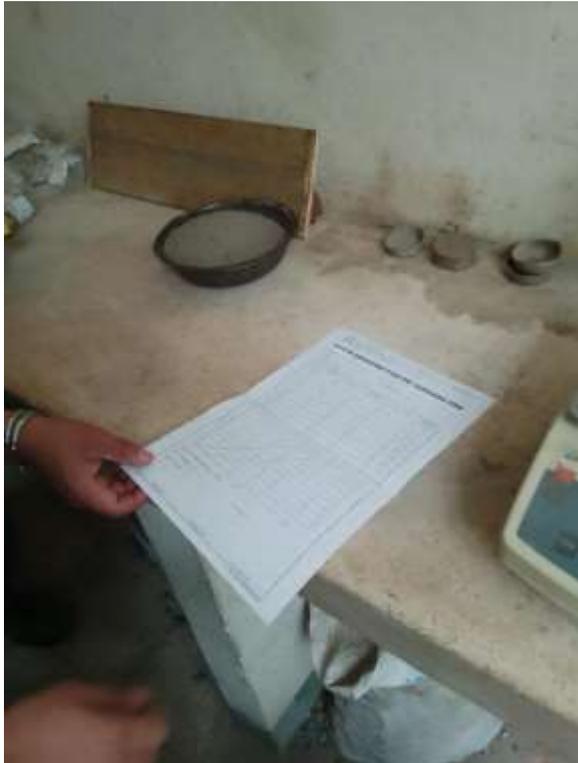
Anexo 4

Secado de la arena



Anexo 5

Ensayos granulométricos





Anexo 6

Ensayo granulométrico de arena unificada obtenido de la cantera Calizas Huayco

	GRANULOMETRIA DE ARENA UNIFICADA	Planta: Huayco	Código: SI-RG-010-10-10
		Realizado: M.A.R.	Fecha: 2010-05-20
		Revisado: E.W.P.	Aprobado: V.B.D.
		Edición: 00	Página: 1 de 1

FECHA DE ENSAYO:	2018-08-31.	OBSERVACION <input type="text"/>
FECHA DE ENTREGA:		
PROCEDENCIA:	STOCK	
PESO HÚMEDO	763.60	
PESO SECO	697.80	

TAMIZ INEN - ASTM	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
3/8"	0.00	0%	0%	100%
4	45.90	6.58%	6.58%	93.42%
8	206.60	29.61%	36.19%	63.81%
16	152.90	21.91%	58.10%	41.90%
30	116.10	16.64%	74.73%	25.27%
50	69.60	9.97%	84.71%	15.29%
100	42.90	6.15%	90.86%	9.14%
200	29.60	4.24%	95.10%	4.90%
FONDO	34.20	4.90%	100.00%	0.00%
TOTAL	697.80			

MODULO DE FINURA:	3.51
PORCENTAJE DE HUMEDAD:	9.43%

 Sr. E. Wandemberg
 LABORATORISTA

Anexo 7

Ensayo granulométrico de piedra #56 obtenido de la cantera Calizas Huayco.

	<h2 style="margin: 0;">GRANULOMETRIA DE AGREGADO 56</h2>	Planta: Huayco	Codigo: SI-RG-010-10-4
		Realizado: M.A.R.	Fecha: 2018-08-20
		Revisado: E.W.P.	Aprobado: V.B.D.
		Edición: 00	Página: 1 de 1

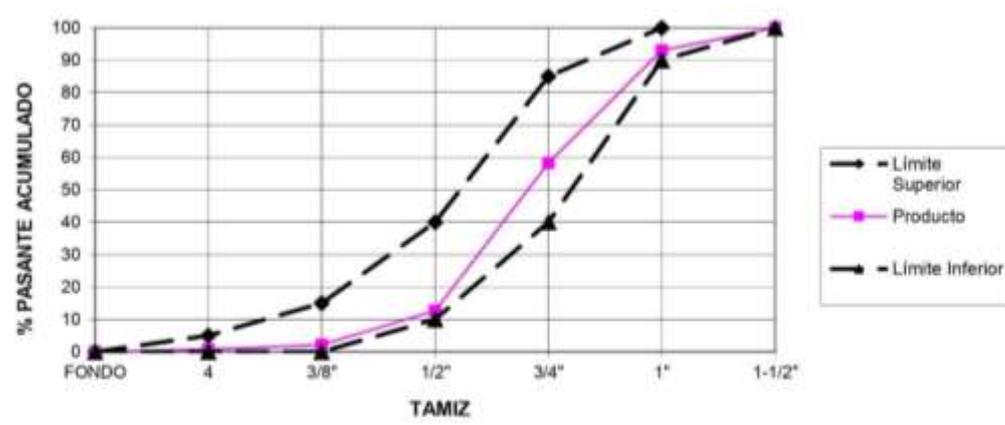
INEN 696 - ASTM C33

FECHA DE ENSAYO:	2018-08-20.
FECHA DE ENTREGA:	
PROCEDENCIA:	STOCK
MASA INICIAL:	4,125.30

TAMIZ INEN - ASTM	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	NORMA
1-1/2"	0.00	0%	0%	100%	100
1"	288.90	7.00%	7.00%	93.00%	90-100
3/4"	1,431.40	34.70%	41.70%	58.30%	40-85
1/2"	1,881.60	45.61%	87.31%	12.69%	10-40
3/8"	435.10	10.55%	97.86%	2.14%	0-15
4	56.80	1.38%	99.24%	0.76%	0-5
200	2.60	0.06%	99.30%	0.70%	Max 1.5
FONDO	28.90	0.70%	100.00%	0.00%	
GRUMOS	0.00	0.00%			
TOTAL	4,125.30				

MÓDULO DE FINURA:	8.33
-------------------	------

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACION: (% MAT. LIVIANO = 0,18) (% CHERT = 3,69) (% ARCILLA = 0,14)
MATERIAL TOMADO FRENTE A STOCK DE PRODUCCION.

Sr. E. Wandemberg
LABORATORISTA

Anexo 8

Mezcla para la fabricación de probetas



Anexo 9

Máquinas ensayo a compresión



Anexo 10

Fabricación de probetas

