



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:
ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ENTRE EL HORMIGÓN
TRADICIONAL, HORMIGÓN CON CÁSCARA DE ARROZ Y HORMIGÓN CON
CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ EN BUSCA DE UN HORMIGÓN MÁS
SOSTENIBLE

ELABORADO POR:
CALDERÓN CEDEÑO ANDY LEONEL
CEDEÑO MACIAS LEONARDO FABIAN

TUTOR (A):
ING. EFREN SEGUNDO LOOR LOOR

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

Enero 2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **CALDERON CEDEÑO ANDY LEONEL**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL, HORMIGÓN CON CÁSCARA DE ARROZ Y HORMIGÓN CON CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ EN BUSCA DE UN HORMIGÓN MÁS SOSTENIBLE."**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 26 de enero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Efrén Loor Loor, Mg.
Docente Tutor
Área: Ingeniería Civil

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **CEDEÑO MACÍAS LEONARDO FABIÁN**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL, HORMIGÓN CON CÁSCARA DE ARROZ Y HORMIGÓN CON CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ EN BUSCA DE UN HORMIGÓN MÁS SOSTENIBLE."**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 26 de enero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Efraín Loor Loor, Mg.
Docente Tutor
Área: Ingeniería Civil

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Andy Leonel Calderón Cedeño con CC: 135162041-2, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema "**ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL, HORMIGÓN CON CÁSCARA DE ARROZ Y HORMIGÓN CON CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ EN BUSCA DE UN HORMIGÓN MÁS SOSTENIBLE**", el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Efren Segundo Loo Loo.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 30 días del mes de enero de dos mil veinte y seis.



Andy Leonel Calderón Cedeño
C.C. 135162041-2
Autor

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Leonardo Fabian Macias Cedeño con CC: 131358120-7, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema " **ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL, HORMIGÓN CON CÁSCARA DE ARROZ Y HORMIGÓN CON CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ EN BUSCA DE UN HORMIGÓN MÁS SOSTENIBLE** ", el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Efren Segundo Loor Loor.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 30 días del mes de enero de dos mil veinte y seis.



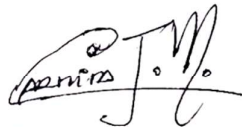
Leonardo Fabian Cedeño Leonardo
C.C. 131358120-7
Autor

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es " **ESTUDIO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ENTRE EL HORMIGÓN TRADICIONAL, HORMIGÓN CON CÁSCARA DE ARROZ Y HORMIGÓN CON CENIZAS DE CÁSCARA DE ARROZ EN BUSCA DE UN HORMIGÓN MÁS SOSTENIBLE** " internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo APRUEBO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario. En la ciudad de Manta, a los 30 días del mes de enero de dos mil veinte y seis.



Ing. Carmita Jimenez Merchan.
C.C. 130632623-0
Tribunal 1



Ing. Jorge García Argandoña.
C.C. 130756406-0
Tribunal 2

DEDICATORIA

A mis padres,
por su apoyo constante e incondicional,
por su amor y ser pilares fundamentales
en mi vida académica y personal.

A mi hermano,
por siempre estar a mi lado
todas las veces que lo necesite,
por su ayuda y consejos,
y por ser mi ejemplo a seguir.

A mis abuelitos,
por siempre brindarme su apoyo y cariño.

A mis tíos,
quienes siempre me brindaron apoyo
cuando lo necesite.

A mis amigos,
con quienes compartí muchas experiencias
y nos ayudamos mutuamente.

Andy Leonel Calderón Cedeño

C.I 1351620412

Autor

AGRADECIMIENTO

Este trabajo no habría sido posible sin la ayuda de muchas personas. Agradezco principalmente a mis padres por todo el apoyo que me han brindado en mis estudios y por qué lo que han sido clave en mi desarrollo personal.

Quiero expresar un agradecimiento especial a toda mi familia por su cariño incondicional y a alentarme en alcanzar mis objetivos.

Agradezco a todo el personal del laboratorio de suelos quienes siempre estuvieron dispuestos a extendernos una mano, aclarando dudas y ayudando en el desarrollo de los ensayos presentados en este trabajo.

A mis amigos quienes de algún modo me acompañaron y aportaron en la culminación de este proceso.

También agradezco a mi tutor de tesis, el Ingeniero Efrén Segundo Loo Loo, por compartir sus conocimientos, servir de guía y siempre estar dispuesto a ayudar en cada etapa del desarrollo del presente trabajo.

Andy Leonel Calderón Cedeño

C.I 1351620412

Autor

DEDICATORIA

A Dios, por su infinita misericordia y por la fortaleza que me ha dado en cada etapa de este recorrido y por guiarme con su sabiduría infinita aún en los momentos más difíciles.

A mi esposa, por su amor comprensión y apoyo incondicional especialmente en los momentos de sacrificio y esfuerzo.

A mis tres hijos, quienes con su presencia, alegría y ejemplo han sido la principal motivación para seguir adelante y no rendirme.

A mis padres, mi más profundo respeto y gratitud: a mi madre, que descansa en paz, por todo su amor incondicional y los valores que me enseñó, que a pesar de su ausencia siguen vivos en mí; y a mi padre, por estar siempre ahí, apoyándome y animándome. También a mis hermanos y demás familiares.

Leonardo Fabian Cedeño Macías

C.I 131358120-7

Autor

AGRADECIMIENTO

Antes que nada, agradezco a Dios por ser guía permanente en este proceso académico por concederme fortaleza en los momentos de dificultad su presencia ha sido soporte invisible que orientó cada esfuerzo realizado.

A mi preciada familia, mi padre por su apoyo incondicional y consejos; mi esposa por su amor, paciencia y compañía a lo largo de este camino mis hijos por mi mayor fuente de inspiración y motivación y mis hermanos por su respaldo y ánimo en cada parte de este proceso.

Agradezco de manera especial a mi compañero de tesis por el compromiso y el trabajo colaborativo que hicieron posible este estudio, así como a mi tutor de tesis por su orientación académica y valioso aporte durante el desarrollo de la investigación.

A mis compañeros en general por el apoyo mutuo y los aprendizajes compartidos a lo largo de la vida universitaria que enriquecieron mi formación tanto en el ámbito académico como en lo personal.

Por último, pero no menos importante a mis docentes por sus enseñanzas que aportaron significativamente a mi formación profesional y al conocimiento crítico para la realización de este proyecto de investigación.

Leonardo Fabian Cedeño Macías

C.I 131358120-7

Autor

Resumen

En el presente estudio experimental se desarrolló para una dosificación de $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ la proporción más eficiente con el uso de cáscara de arroz y su ceniza, un residuo agrícola abundante dentro de la zona de la provincia de Manabí con el fin de aportar a la sostenibilidad constructiva.

Se llevaron a cabo distintos ensayos para los agregados finos y grueso, siguiendo la normativa vigente INEN NTE, con el fin de determinar la dosificación para un hormigón de $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ siguiendo la metodología del American Concrete Institute ACI 211.1. Posterior a ello, se elaboraron los ensayos de compresión, flexión y trabajabilidad del hormigón tradicional y el hormigón con cáscara de arroz y su ceniza. Estos ensayos fueron elaborados desde el laboratorio de suelo y hormigón de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí-Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura-Carrera de Ingeniería Civil.

Una vez realizados dichos ensayos se realizó la comparación de los resultados donde se identificaron las proporciones más optimas de la cáscara de arroz y su ceniza, donde se concluyó que con un 10% de ceniza de cáscara de arroz se obtuvo la mayor resistencia a la compresión y con un 3% de cáscara de arroz un incremento en la resistencia a la flexión del hormigón.

Palabras clave: Hormigón, cáscara de arroz, ceniza de cáscara de arroz, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, trabajabilidad, sostenibilidad, ensayos.

Abstract

In this experimental study, the most efficient mix design was developed for a concrete strength (f'_c) of 210 kg/cm² using rice husks and rice ash, an abundant agricultural residue in the Manabí province, with the aim of contributing to sustainable construction.

Various tests were conducted on fine and coarse aggregates, following current INEN NTE standards, to determine the mix design for concrete with $f'_c = 210$ kg/cm², using the American Concrete Institute (ACI) 211.1 methodology. Subsequently, compression, flexural, and workability tests were performed on both traditional concrete and concrete containing rice husks and rice ash. These tests were conducted in the soil and concrete laboratory of the Eloy Alfaro Lay University of Manabí, Faculty of Engineering, Industry, and Architecture, Civil Engineering Department.

Once these tests were completed, the results were compared to identify the optimal proportions of rice husk and rice husk ash. It was concluded that 10% rice husk ash resulted in the highest compressive strength, while 3% rice husk increased the flexural strength of the concrete.

Keywords: Concrete, rice husk, rice husk ash, compressive strength, flexural strength, workability, sustainability, testing.

Índice

Resumen.....	11
Abstract	12
Introducción	16
Planteamiento del Problema	17
Justificación	18
Objetivos de la Investigación.....	19
Ubicación del Área de Estudio	20
Antecedentes	21
Capítulo 1: Marco Teórico.....	22
1.1 Concepto de hormigón.....	22
1.2 Propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad del hormigón.....	23
1.3 Materiales que componen el hormigón.....	26
1.3.1 Cemento	26
1.3.2 Árido grueso.....	26
1.3.3 Árido fino.....	26
1.3.4 Aditivo	26
1.4 Hormigón sostenible y el uso de residuos agroindustriales	27
1.5 Tipo de material incorporado al hormigón	27
1.5.1 Uso de cáscara de arroz y las cenizas de la cascara de arroz como aditivo natural.	27
1.5.2 Propiedades físico- químico de la cascara y la ceniza de arroz	28
1.5.3 Comparación entre cáscara cruda y cenizas de cáscara de arroz (RHA)....	29
1.5.4 Uso de las cenizas de cáscara de arroz (RHA) como material puzolánico.	30
Capítulo 2: Materiales y Metodología Aplicada.....	34
2.2 Metodología Aplicada.....	36
2.3 Ensayos a los Materiales.....	36

2.3.1 Ensayo para Determinación del Material más Fino que pasa el Tamiz con Aberturas de 75µm (No. 200) Mediante Lavado (NTE INEN 697).....	36
2.3.2 Ensayo del Análisis Granulométrico en los agregados finos y gruesos (NTE INEN 696).....	37
2.3.3 Ensayo para Determinar la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso (NTE INEN 857)	40
2.3.4 Ensayo para Determinar la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Fino (NTE INEN 856)	41
2.3.5 Ensayo para determinar el contenido de humedad de los agregados para hormigón (NTE 862).....	42
2.3.6 Ensayo para determinar impurezas orgánicas en el árido fino para concreto (NTE INEN 855).....	43
2.3.7 Ensayo para determinar la degradación del árido grueso mediante la máquina de los Ángeles (NTE 860).....	44
2.3.8 Ensayo para determinar la masa unitaria y el porcentaje de vacíos (NTE INEN 858).....	45
2.4 Elaboración de la mezcla de hormigón por el método del American Concrete Institute ACI 211.1.....	47
2.5 Ensayos al hormigón.....	49
2.5.1 Ensayo de muestreo para hormigón recién mezclado (NTE INEN 1763)..	49
2.5.2 Ensayo para determinar la temperatura del hormigón en estado fresco (NTE INEN 3119).....	49
2.5.3 Ensayo para determinar el asentamiento del hormigón (NTE INEN 578) .	49
2.5.4 Ensayo para la elaboración y curado de especímenes de concreto (NTE INEN 3124)	50
2.5.5 Ensayo para determinar la densidad, rendimiento y contenido de aire en el concreto (NTE INEN 1579).....	50
2.5.6 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón (NTE INEN 1573)	50

2.5.7 Ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (NTE INEN 2554)	51
Capítulo 3: Análisis de Resultados	52
3.1 Resultado de los ensayos a los materiales.....	52
3.2 Resultados del método ACI 211.1	52
3.3 Resultado de los ensayos al hormigón	53
3.3.1 Resultado de los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón	53
3.3.2 Resultado de los ensayos de resistencia a la flexión del hormigón	58
Conclusión	60
Recomendaciones	61
Bibliografía	62
Anexos	65

Introducción

En la actualidad, mencionar sobre la sostenibilidad ya no es una opción, sino una necesidad. El mundo se está viendo muy afectado debido a la crisis ambiental entre sus consecuencias más evidentes se encuentra el cambio climático, una pérdida notable de biodiversidad, contaminación del aire, agua y de los suelos. Ante estos sucesos el sector de la construcción tiene la tarea de hallar materiales que combinen resistencia, durabilidad, eficacia y sostenibilidad. En ese contexto, el concreto continúa siendo uno de los materiales de mayor uso debido a su alta adaptabilidad y capacidad estructural. No obstante, aún existe un amplio campo de mejoras en su comportamiento mecánico durante su etapa de fraguado, lo que motiva nuevas líneas de investigación enfocadas en mejorar su rendimiento desde sus fases iniciales.

Dentro de este escenario, surge el interés de los aditivos que además de potenciar las propiedades del concreto sepan aprovechar sus recursos sean accesibles y poco utilizados. Entre ellos se encuentra la cascara de arroz, un residuo agrícola muy abundante dentro de la provincia de Manabí y suele desecharse sin ser aprovechado. Investigaciones recientes indican que dicho material podría potenciar su resistencia, trabajabilidad y otras propiedades esenciales del hormigón, que abre una oportunidad de desarrollar mezclas más eficientes y sostenibles, sin tener que depender de los aditivos industriales.

Este trabajo surge de la necesidad de comprender como el adicionar cascara de arroz, y cenizas de la cascara de arroz en la mezcla de hormigón puede influir en sus propiedades. Mediante el método experimental, se examinará su impacto en características como la resistencia a la compresión, y flexión, además de su capacidad de trabajo. La meta es establecer si este desecho natural constituye una opción factible y sostenible para optimizar las mezclas de concreto, aportando tanto a la innovación técnica como al empleo consciente de los recursos existentes.

Planteamiento del Problema

El hormigón, considerado uno de los materiales más empleados de la construcción es también uno de los mayores contribuyentes a la elevada huella de carbón. Esto se debe principalmente a su proceso de producción, especialmente por la elaboración del cemento Portland, cuya fabricación libera grandes cantidades de gases de efectos invernaderos esta realidad ha posicionado al sector de la construcción entre los más contaminantes a escala mundial. Adicionalmente, en muchas ocasiones, la industria recurre al uso de aditivos químicos sintéticos para optimizar sus propiedades mecánicas y su trabajabilidad. Aunque estos productos cumplen funciones técnicas relevantes, suelen implicar altos costos, provienen de recursos no renovables y, en numerosos casos, generan impactos ambientales negativos durante su fabricación incrementando aún más su huella ecológica.

Frente a este panorama, en el que la preocupación por el cambio climático y la sostenibilidad ha adquirido mayor protagonismo en los distintos sectores productivos se hace necesario replantear las prácticas convencionales en la construcción. En Ecuador, este reto adquiere especial importancia debido al incremento de la demanda de edificaciones e infraestructuras, sobre todo en ciudades como Manta donde el crecimiento urbano ha sido acelerado en los últimos años. Por ello, la búsqueda de métodos constructivos más sostenibles orienta a la atención hacia el empleo de aditivos naturales que resulten económicamente accesibles, ampliamente disponibles en la región y con un impacto ambiental reducido. En este sentido, la cáscara y la ceniza del arroz se presenta como una opción prometedora para la industria de la construcción en Manta, enmarcada dentro de los principios de sostenibilidad.

La cáscara y la ceniza del arroz, residuo agrícola de amplia disponibilidad en las zonas productoras del país, constituyen una alternativa para valorizar un subproducto que habitualmente se desecha sin aprovechamiento. Su inclusión en mezclas de hormigón permitirá disminuir la dependencia de aditivos sintéticos, promover la economía circular y contribuir a la reducción de residuos que afectan al medio ambiente. en ese texto resulta pertinente investigar de qué manera este material influye en las propiedades mecánicas del hormigón, avaluando parámetros como resistencia a compresión y flexión, trabajabilidad. El objetivo es establecer su factibilidad como recurso técnico sostenible para fortalecer la eficiencia y la responsabilidad ambiental en la construcción local.

Justificación

La construcción se encuentra entre las actividades humanas que más recursos naturales demanda y que generan un elevado nivel de impacto ambiental, ante esta situación, resulta imprescindible adoptar estrategias que prioricen la sostenibilidad, más allá, de considerarlas simples alternativas. En este marco, la investigación propone el uso de un residuo agrícola abundante y poco aprovechado, como es la cáscara de arroz y la ceniza de dicha cascara incorporando como aditivo natural en la producción de hormigón.

La idea no solo se limita a optimizar el comportamiento del material, sino también usar menos aditivos químicos de los que se emplean normalmente. Con este, se busca construir de una manera más responsable y cuidando mejor el entorno. En la provincia de este derivado, la iniciativa se presenta como una opción viable para transformar un desecho en un insumo valioso dentro de la ingeniería civil.

Asimismo, se presenta aportar con conocimiento de aplicación directa que benefician a comunidades, constructores y profesionales que opten por métodos constructivos más responsables, orientados a reducir el impacto ambiental y promover un desarrollo más equilibrado con el entorno.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Comparar las propiedades como resistencia a la compresión, flexión y trabajabilidad del hormigón tradicional frente al hormigón con cascaras de arroz y cenizas de la cascara de arroz como aditivo natural, con la finalidad de ser un aporte a la sostenibilidad en la industria de la construcción en Manta-Ecuador.

Objetivos Específicos

- Diseñar la dosificación más optima de hormigón con cascara de arroz y cenizas de cascara de arroz.
- Realizar ensayos de compresión, flexión y trabajabilidad del hormigón tradicional, el hormigón con cascaras de arroz y cenizas de la cascara de arroz como aditivo natural.
- Determinar si el uso de cascaras de arroz y las cenizas de la cascara de arroz en el hormigón son un beneficio para la industria de la construcción en Manta-Ecuador.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo influirá la incorporación de cáscara de arroz y las cenizas de la cascara de arroz en las propiedades mecánicas del hormigón y que beneficio sostenible podría aportar a la industria de la construcción en Manta?

Hipótesis de la Investigación

La incorporación de cáscara de arroz y las cenizas de la cascara de arroz como aditivo natural en el hormigón mejora ciertas propiedades mecánicas y la trabajabilidad en comparación con el hormigón tradicional, contribuyendo a una construcción más sostenible en Manta-Ecuador

Ubicación del Área de Estudio

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí (ULEAM), ubicado en la ciudad de Manta. Allí se realizaron los ensayos experimentales y se llevó a cabo el análisis técnico correspondiente. Este proyecto será impulsado desde la Carrera de Ingeniería Civil, contando con los recursos y el apoyo necesario para trabajar con materiales alternativos.

Para la preparación de las mezclas de hormigón, se utilizarán materiales que representen las condiciones locales. El agregado grueso tipo # 57 será suministrado por la cantera Megarok ubicada en Chorrillo s/n. Km. 5 vía Manta - Montecristi por la entrada de EL CAFE 3 Km hacia arriba, mientras que el agregado fino también se obtuvo de dicha cantera. La cáscara de arroz, elemento principal de estudio, será recolectado en las zonas agrícolas de Manabí (Santa Ana), donde este residuo es generado en grandes cantidades y en muchas ocasiones no es aprovechado adecuadamente.

Además de la parte experimental, se realizará una revisión bibliográfica amplia, consultando artículos científicos en base de datos especializados y material académico proporcionando por la biblioteca virtual de la ULEAM. Este soporte teórico, junto con el trabajo en laboratorio permitirá abordar la investigación con una visión completa y adaptada al contexto local.

Antecedentes

Para comprender el estado actual sobre los avances en la búsqueda de sostenibilidad dentro de la industria de la construcción y sobre todo en el hormigón el cual es el material constructivo más utilizado actualmente, se presenta a continuación una revisión de los antecedentes más relevantes.

En un trabajo realizado por Manchenkor (2024), diseñó un protocolo de reutilización para el hormigón fresco residual que retorna a la planta de elaboración, con el objetivo de integrarlo en nuevas muestras de concreto, disminuyendo así el impacto ambiental y minimizando costos de producción. Se empleó un hormigón con $f'_c=30\text{MPa}$ en la investigación y se analizó el rendimiento al reemplazar ciertos porcentajes del peso de hormigón fresco residual. Se concluyó que agregar hormigón fresco residual no generó alteraciones importantes en la resistencia a la compresión, por lo que es una opción viable y sustentable para el sector de la construcción.

Otro estudio relevante es el de Suarez (2024), en el que se emplearon mezclas de hormigón con la adición de un aditivo natural, concretamente mucílago de *Opuntia ficus-indica* (nopal). Al obtener un hormigón con una mayor velocidad ultrasónica, se presenta una mejor compactación y cohesión interna, así como una capacidad térmica superior y una disminución de la rugosidad superficial. En términos de sostenibilidad, esto significa que se requiere menos concreto debido a sus mejores propiedades mecánicas, lo que permite un aumento en la durabilidad (por lo tanto, se necesitará menos mantenimiento) y genera una menor huella de carbono al reducir las reparaciones.

Asimismo, Celis Avellaneda & Requejo Cardozo (2023), emplearon mucílago de Nopal como aditivo natural junto con fibras de cobre reciclado. El resultado fue una mezcla que contenía 1.5% fibra de cobre y 5% mucílago de Nopal, la cual mostró un desempeño superior ante fisuras y un incremento notable en su resistencia a la compresión, flexión y tracción. Con la implementación de estos aditivos se reducen los residuos metálicos y del consumo de agua y cemento, además de ser aplicables a pavimentos y estructuras de alta cargas.

Como se ha podido observar cada uno de estos estudios tienen como objetivo la sostenibilidad del hormigón y se han realizado desde distintas alternativas, por lo cual estos antecedentes no solo resultan como base para la presente investigación, también demuestra la variedad de alternativas sostenibles que se pueden optar dependiendo de las necesidades y uso que pueda proporcionar el hormigón.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1 Concepto de hormigón

De acuerdo con (Winter et al., 2021), el hormigón es un material de construcción que se encuentra formado por la combinación de cemento, árido fino (arena), árido grueso (grava), agua y en ocasiones especiales aditivos, el hormigón en su estado fresco es un material fluido con la capacidad de ser moldeable, transcurrido un tiempo este comienza con su proceso de fragua y se endurece. Por estas capacidades el hormigón se ha convertido en uno de los materiales más utilizados dentro de la ingeniería civil y la construcción además de su durabilidad, adaptabilidad y capacidad de soportar cargas de compresión.

Considerando todo lo anterior puedo decir que el hormigón es un material básico en cuanto a su aplicación en el ámbito de la ingeniería civil por su versatilidad y su comportamiento mecánico en estado fresco contribuye a la posibilidad de adaptarse a diferentes formas y condiciones constructivas y cuando se endurece da resistencia y estabilidad a la estructura, además considere que su empleo es realizado debido no a su aptitud para soportar esfuerzos a compresión también a su durabilidad y a la posibilidad de modificar sus características dependiendo del aditivo que se le aporte, convirtiéndolo en un material que puede suministrar para distintos tipos de obras y diferentes condiciones de uso.

En estudio realizado por (Habert et al., 2020), el hormigón es uno de los materiales de construcción más utilizados por su versatilidad y capacidad estructural, se obtiene al mezclar cemento con agregados finos y grueso, agua dependiendo de los requerimiento de cada proyecto, aditivos minerales o aditivos químicos, las propiedades mecánicas y la durabilidad del hormigón dependen de los procesos físicos químicos que tienen lugar a compuestos como los silicatos de calcio hidratados CSH principalmente responsable de la resistencia de la cohesión interna y del comportamiento a largo plazo del propio material.

Para (Thomas, 2018), el hormigón se caracteriza principalmente por su alta resistencia a compresión su buena respuesta a condiciones ambientales y la versatilidad que aporta al diseño estructural por este motivo se utiliza ampliamente en diferentes obras civiles además su comportamiento es variable y no ocurre de manera automática puesto que está condicionado por variables seleccionadas, la relación agua-cemento, la naturaleza o calidad del hormigón a la inclusión de materiales cementantes suplementarios que ofrecen la posibilidad de mejorar la resistencia y durabilidad del material.

1.2 Propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad del hormigón

- **Propiedades del hormigón**

(Yaseen et al., 2024), argumentan que emplear materiales cementosos suplementarios en los diseños de mezclas de hormigón es necesario modificar la dosificación a fin de mantener el comportamiento al plazo manteniendo la necesidad de agregar superplastificantes para mantener la fluencia del hormigón sin la gobernabilidad de un aumento en la humedad del hormigón, mantener una correcta consistencia en fresco será más eficaz la colocación y compactación repercutiendo en el desarrollo de la resistencia a la compresión y en consecuencia el rendimiento del hormigón endurecido.

Estas propiedades, junto al control de su porosidad, resistencia o su durabilidad, brindan al hormigón la posibilidad de cargar y asimilar las estructuras que son comunes de diferir en la moderna brindando a su durabilidad y seguridad. Relacionar los factores es entender cómo la mezcla que resistencia lo que se traduce en una mayor estructura más segura y de mayor tiempo de vida, estas propiedades le permiten ser más precisas en el campo de la ingeniería.

Para (Xiao et al., 2023), la porosidad total y la porosidad de la estructura porosa del concreto afectan su comportamiento frente a entorno agresivos, un aumento del volumen de poros capilares contribuye a una mayor facilidad en la penetración del agua y agentes químicos aumentando con ello la concentración de todos los procesos de duración interna y la reducción de todos los procesos de degradación interna y la reducción de la resistencia a la compresión y la durabilidad. Por el contrario, las menores porosidades proporcionan una menor conectividad entre estos canales capilares reduciendo o limitando el acceso de sustancias nocivas al interior del material favoreciendo que el concreto retenga sus prestaciones a lo largo del tiempo.

La porosidad desempeña un papel importante en la durabilidad y resistencia del hormigón una menor porosidad significa que el volumen de poros del concreto es relativamente más pequeño, lo que disminuye la entrada de agua y otros productos químicos nocivos que podrían dañar la estructura con el tiempo. Por ello es crucial realizar las pruebas que aseguren la integridad y resistencia del hormigón el mayor tiempo posible sobre todo en presencia de agua y de sustancias corrosivas.

Así concluye el otro aspecto del debate que se centra en la optimización de las mezclas de hormigón para disminuir los gastos de mantenimiento y reparación, y así prolongar la vida útil de las estructuras. Además, con el énfasis actual en la sostenibilidad y la eficiencia la necesidad de fabricar concreto más compactado y menos poroso se alinea no solo con los

estándares de ingeniería modernos, sino que también refuerza la durabilidad y resiliencia de las estructuras.

De acuerdo con (Mohamed et al., 2024), aunque la integración de ciertos refuerzos o modificaciones en la mezcla de hormigón puede mejorar su comportamiento mecánico especialmente contra el agrietamiento y la flexión, estos cambios suelen afectar de forma negativa a la trabajabilidad y fluidez del material en su estado fresco, en este caso los autores resaltan la importancia de controlar la consistencia de la mezcla puesto que una trabajabilidad inadecuada puede dificultar la colocación y provocar fallos internos, mantener un balance entre el rendimiento mecánico y la trabajabilidad es esencial para que el hormigón alcance la resistencia deseada una vez fraguado.

Según (Compaoré et al., 2025), incorporación de aditivos minerales en las mezclas de hormigón influyen notablemente en la conductividad térmica la densidad y las características mecánicas del material, estos aditivos se combinan con la base cementosa y mejoran el tamaño de los poros y la densidad de la estructura lo cual afecta la resistencia, compresión y el comportamiento térmico del hormigón, así es viable ajustar el diseño de la mezcla para mejorar su desempeño en condiciones de calor extremo y lograr una mayor eficiencia energética en las estructura.

La conducta térmica del hormigón es modificable con la adición de ciertos aditivos minerales. Por fin el hormigón resultante se puede diseñar para efectuar la mezcla que se necesita en condiciones térmicas extremas ya sean calurosos, fríos o incluso en el moderno lo que ayuda también a la eficiencia energética y al desempeño estructural estas condiciones se adaptan bien en zonas en donde la temperatura es alta, ya que ahí la estabilidad y durabilidad del hormigón es puesta a prueba.

Esta finalidad permite que el hormigón actúe como elemento en la construcción de edificios que lo protegen de elementos que con el tiempo podrán tentar en el rendimiento de la estructura. Utilizando aditivos los daños permanentes que pueden sufrir en temperatura se aliviana protegiendo a los edificios de sufrir problemas de fisuración (similar a las fisuras en el cemento). El modelo donde los materiales para la construcción de los edificios están diseñados a base de la utilización de los diversos componentes y se adaptan al lugar se encuentran en desarrollo permanente y este es un paso en la buena dirección.

Para (Chen et al., 2025), el uso de bajas proporciones agua-aglomerantes y la introducción de aditivos minerales como la escoria, cenizas volantes y humo de sílice

proporcionan una mejora significativa en el rendimiento expuesto a entornos agresivos, la investigación demuestra que estas variables producen una microestructura de mayor densidad disminuyendo la difusión de iones cloruro, fomentan la estabilidad de las propiedades mecánicas soportando cargas sostenibles y ciclos ambientales severos incrementando la vida útil de las estructuras de hormigón.

Mezclar ciertos aditivos con un proceso de curado controlado es posible obtener hormigón de alto rendimiento. Estos materiales mejoran significativamente su comportamiento cuando se someten a cargas dinámicas y condiciones ambientales agresivas que hace especialmente útiles para proyectos que requieren alta resistencia y durabilidad. El uso estratégico de aditivos combinado con un curado efectivo optimiza la microestructura del hormigón al reducir defectos internos y mejorar la durabilidad del material a lo largo del tiempo.

Este enfoque enfatiza la importancia de abstenerse de centrarse únicamente en el diseño de la mezcla de hormigón en cómo el uso de aditivos y un control meticuloso del curado pueden mejorar enormemente la calidad resistencia y rendimiento del hormigón. Esto es esencial para garantizar que las estructuras sean seguras, más duraderas y capaces de resistir fuerzas dinámicas y entornos hostiles sin comprometer su funcionalidad a largo plazo.

La calidad del concreto depende de la precisión de su dosificación, mezcla y tratamiento que se ejecutan con habilidad y se supervisan de cerca como se aborda en el extracto anterior. Los materiales alternativos deben ser adoptados para que las estructuras sean más resistentes y perduren en la prueba del tiempo.

Según (Farhan et al., 2021), los componentes cementosos y los materiales geo poliméricos muestran un comportamiento bajo cargas de flexión y tracción, destacan que la incorporación de fibras permite cambiar este fenómeno favoreciendo una respuesta más dúctil y un mejor control de las grietas, los geos polímeros reforzados con fibras aumentan su resistencia mecánica y durabilidad convirtiéndose en una opción sostenible al cemento.

La resistencia del concreto a la flexión, el impacto y la tensión se puede mitigar con el uso de aditivos naturales. Estos aditivos ayudan a lograr una matriz de cemento más compacta, lo que refuerza la cohesión interna del material, haciéndolo más resistente a las tensiones estructurales dañinas. Este enfoque va más allá de mejorar las propiedades mecánicas del concreto y ayuda a mejorar su durabilidad cuando se expone a ambientes agresivos.

La incorporación de aditivos naturales para mejorar las resistencias es un avance notable en la estrategia de ingeniería moderna, ya que permite un mejor rendimiento sin depender de materiales sintéticos o costosos. Esto cumple con los requisitos de la construcción moderna: un equilibrio entre eficiencia, sostenibilidad y durabilidad.

1.3 Materiales que componen el hormigón

1.3.1 Cemento

Zuñiga (2021) nos menciona que el cemento es un material de construcción nacido en 1824, sus componentes principales son la roca caliza y la arcilla, aunque en ciertas ocasiones incluye cal. El proceso de producción del cemento comprende la calcinación del material crudo para fabricar Clinker, que posteriormente se tritura y se almacena con el fin de venderlo. En la actualidad al ser una piedra artificial es moldeable en su estado fresco y al endurecerse obtiene una gran resistencia a la compresión, esta puede fluctuar en función de las materias primas empleadas, incluyendo la resistencia a los efectos corrosivos de los sulfatos. Además, puede cambiar de color y producirse comercialmente como cemento Portland Blanco para fines decorativos.

1.3.2 Árido grueso

El Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 694 (2010) define a los áridos gruesos como los que tienen una mayoría de partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm, o la parte de un agregado que se mantiene sobre el tamiz de 4.75 mm.

1.3.3 Árido fino

Así mismo el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 694 (2010) define a los áridos finos como los que atraviesan el tamiz de 9.5 mm, donde la mayor parte de sus partículas pasan por el tamiz de 4.75 mm y quedan atrapadas en el tamiz de 75 mm, o bien la fracción del árido que logra pasar por el tamiz de 4.75 mm y queda retenida en el tamiz de 75 mm.

1.3.4 Aditivo

De la misma forma el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 694 (2010) define a los aditivos como los materiales diferentes de las fibras de refuerzo, los áridos, el agua o los materiales cementantes hidráulicos. Estos se añaden a la mezcla del cemento para modificar o perfeccionar algunas características del hormigón fresco, como su capacidad de trabajo, endurecimiento, fraguado y durabilidad. Los aditivos se incorporan en el proceso de amasado, ya sea antes o durante la mezcla.

1.4 Hormigón sostenible y el uso de residuos agroindustriales

(Scrivener et al., 2018), señala que la industria de la construcción está considerada como uno de los segmentos con mayor impacto ambiental a nivel mundial, debido principalmente a la fabricación de cemento Portland, que requiere un alto consumo de energía y es responsable de aproximadamente el 7-8% de las emisiones globales de dióxido de carbono. Ante esta situación la investigación científica ha concentrado sus esfuerzos en el desarrollar concretos más sostenibles mediante la incorporación de materiales cementosos suplementarios y residuos industriales o agroindustriales.

Los autores tienen razón al señalar que el cemento, con su elevado consumo energético es responsable de casi el 8% de las emisiones de CO₂ y hace de la construcción un grave inconveniente medioambiental. Comparto que el uso de residuos y materiales sobrantes para crear un hormigón más sostenible es el camino por seguir, es necesario comprobar su duración a largo plazo en proyectos de obras reales para que no se quede en una simple teoría.

1.5 Tipo de material incorporado al hormigón

1.5.1 Uso de cáscara de arroz y las cenizas de la cascara de arroz como aditivo natural.

Incluso con ciertas propiedades fisicoquímica, sin ninguna modificación, las cáscaras y las cenizas de arroz pueden utilizarse de forma económica y sencilla en la fabricación de hormigón, donde actúan como agente reforzante, mejorando la resistencia a la tracción (cenizas) y a la flexión (cascara). Además, la adición de esta mezcla de residuos agrícolas de carbono no solo aprovecha un aditivo dentro del hormigón, sino que este tipo de mezcla incorporada a la resistencia a la flexión, que actúa como refuerzo, da lugar a una reducción considerable de los residuos de construcción.

(Robinson et al., 2022) Señalan que las cenizas procedentes de la cáscara de arroz son una opción viable como material cementoso en la producción de hormigón, ya que se ha comprobado que su la incorporación en parte del cemento tradicional mejora mucho la resistencia a la compresión si se usa en proporciones adecuadas y bien controladas, ayuda mucho al medio ambiente ya que la reducción de la proporción del cemento en las mezclas conlleva una notable disminución de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas directamente con su proceso de fabricación ya que consume mucha energía, al tiempo que se promueve el uso sostenible de un residuo agroindustrial generado en grandes cantidades en

diversas regiones productoras de arroz, lo que contribuye de forma efectiva a unas prácticas más ecológicas en la construcción.

Los países donde se produce mucho arroz se han empezado a usar la cáscara de arroz como un ingrediente extra en el hormigón. Esto no solo ayuda a aprovechar un material que normalmente se tira, sino que también impulsa una economía circular y fomenta que la construcción sea un poco más amigable con el medio ambiente. Las cenizas de la cáscara de arroz, que normalmente se tira, puede usarse para hacer el hormigón más fuerte y cuidar el ambiente. Esto ayuda a gastar menos material, que contamina mucho. Si más personas usaran esta idea, la construcción sería mejor para todos y para la naturaleza. Esto no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede ser una buena forma de hacer la construcción más accesible y económica.

Según (Callupe et al., 2023), la incorporación de cenizas de cascarilla de arroz al concreto surge como una alternativa sustentable que reduce significativamente el daño ambiental que genera la producción intensiva de cemento, este método fomenta el uso responsable de los abundantes residuos agrícolas, convirtiéndolos en recursos útiles para la construcción y por lo tanto impulsa un desarrollo más responsable y respetuoso con el medio ambiente

1.5.2 Propiedades físico- químico de la cascara y la ceniza de arroz

La cáscara de arroz contiene silicio considerable, además de celulosa y lignina, por lo que se refiere a la cáscara de arroz y a las cenizas, además de un poroso grado de adsorción. Todavía se puede decir que hay una ayuda considerable para el plástico de la mezcla. Además, al aumentar el agua dentro de la porosidad de la mezcla, la sinergia permite un movimiento continuo dentro del ambiente de construcción, facilitando el acceso.

(Vieira et al., 2020), Sostiene que su composición química la cascara de arroz están formadas fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice, que son los componentes clave que definen su estructura natural como residuo agrícola sin embargo el inconveniente es que la sílice que contiene no está lista para actuar de forma inmediata, ya que se presenta principalmente en forma cristalina y está atrapada dentro de esta matriz orgánica compleja lo que reduce considerablemente su capacidad reactiva puzolánica si no se trata previamente con un tratamiento de calor adecuado para su liberación y activación.

En las cascara de arroz la combinación de celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice crea un impedimento práctico para la construcción sustentable ya que la sílice se halla en forma

cristalina dentro del material orgánico y no activa sus características hasta que se la somete a calor. En Ecuador un país agrícola se genera una gran cantidad de este producto como lo es el arroz con un tratamiento térmico básico y local se lo puede cambiar en algo muy útil para mejorar el hormigón de una forma amigable con el medio ambiente, la clave es que sea simple y económico, para que las constructoras lo adopten si hay oportunidad.

1.5.3 Comparación entre cáscara cruda y cenizas de cáscara de arroz (RHA)

Aunque tanto los salvados de arroz crudos como la ceniza de salvado de arroz (RHA) provienen del mismo subproducto agrícola, sus acciones con respecto al concreto difieren. Mientras que el salvado crudo actúa como un refuerzo mecánico y un material de relleno para el concreto, la RHA es un material puzolánico que reacciona con los compuestos producidos durante la hidratación del cemento en una construcción de concreto. Esta diferencia es crucial para entender los impactos de los estudios realizados sobre estos materiales.

Según (Siddika et al., 2021), la diferencia principal entre las cáscaras de arroz cruda y las cenizas de las cáscaras de arroz está en cómo se comportan dentro del hormigón, la ceniza de la cáscara de arroz que se consigue con un proceso de quema controlado, tiene más sílice sin forma y partículas más finas lo que le permite reaccionar con el hidróxido de calcio que se forma durante la hidratación del cemento. Por el contrario, las cáscaras de arroz sin el tratamiento ósea crudas conservan su composición orgánica y no tienen esta capacidad de reaccionar por lo que pueden intervenir de forma activa como material cementoso complementario en las mezclas de hormigón.

El RHA (Ceniza de RHA) actúa como un material suplementario del cemento ya que reacciona con el hidróxido de calcio que libera después del cemento durante el proceso de hidratación y contribuye en la mejora de la formación de hidrato adicional de silicato de calcio hidratado (C-S-H). Como resultado, se mejora la microestructura y las propiedades físico-mecánicas de la acción del hormigón. Por ello, la utilización de los residuos de la agroindustria, tal como RHA, no fortalece solo la calidad y la tecnología al combinar el concreto, sino que también disminuye la suma de cemento ordinario; al usar estos residuos, también disminuye la cantidad de desecho.

(Thiedeitz et al., 2020), Afirman que el rendimiento de la ceniza de cáscara de arroz como material cementoso suplementario depende en gran parte de su proceso de producción, compararon la ceniza obtenida en campo con la ceniza producidas en laboratorio bajo controles precisos, llegaron a la conclusión de que la ceniza de laboratorio muestra una mayor capacidad

de reacción puzolánica y un mejor comportamiento, gracias a un mejor manejo de la temperatura de quemado lo que hace que aumente la cantidad de sílice amorfa y mejora su reacción con la mezcla de cemento.

Mediante una molienda apropiada y un control riguroso del proceso de calcinación, el RHA puede lograr una alta capacidad de reacción puzolánica. Esta capacidad de reacción es crítica porque el RHA se utiliza como aditivo en mezclas de cemento. La reacción entre la ceniza y los hidróxidos de calcio liberados por el cemento Portland crea compuestos de relleno cementantes adicionales que densifican la matriz y mejoran las propiedades mecánicas del cemento.

El uso de RHA es beneficioso no solo por la significativa mejora de la resistencia y durabilidad del hormigón, sino también por la posibilidad de reducir parcialmente la cantidad de cemento Portland, lo que resulta en una importante caída de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la producción de cemento. En este sentido, a través de la valorización de un residuo agrícola común y potencialmente contaminante, RHA, su uso promueve una construcción más sostenible mediante su reciclaje para su uso eficaz por parte de la industria de la construcción.

(Endale, 2023), Indica que el uso de cenizas de cáscara de arroz como sustituto de una parte del cemento mejora la estructura del hormigón ya que favorece la formación de compuestos de hidratación secundarios que hacen que la estructura del cemento sea más densa y compacta, sin embargo esta ventaja no se da cuando se utiliza cáscara de arroz cruda ya que no contiene el sílice reactivo y por lo tanto no aporta mejoras importantes al comportamiento físico y mecánico del hormigón, este estudio coincide en que la cáscara de arroz cruda tiene limitaciones técnicas para su aplicación directa en el hormigón, y que la ceniza de cáscara de arroz se está posicionando como una alternativa más eficiente y técnicamente mejor.

1.5.4 Uso de las cenizas de cáscara de arroz (RHA) como material puzolánico

La ceniza de cáscara de arroz (RHA) se obtiene de la quema controlada de cáscaras de arroz crudas, un Proceso en el que se destruye la sílice de las cáscaras y se convierte en un material de carácter amorfo y reactivo. Este material ha sido estudiado en profundidad como un sustituto parcial del cemento Portland, ya que mejora la resistencia mecánica y la durabilidad del hormigón y disminuye su permeabilidad.

De acuerdo con (Siddika et al., 2021), la ceniza de la cáscara de arroz actúa como un excelente material puzolánico porque tiene bastante silicio amorfo, esto le da capacidad de

reaccionar con el hidróxido de calcio que se libera cuando el cemento se hidrata, y así forma más geles de hidrato de silicato de calcio CSH en definitiva esto da lugar a una mezcla de cemento más compacta y resistente en el hormigón esto no sucede igual con las cáscara sin tratamiento ya que su contenido orgánico impide la reacción química que es clave para aumentar la resistencia del hormigón.

Este óptimo comportamiento se debe a la elevada capacidad puzolánica de la ceniza de cáscara de arroz, que contiene sílice amorfa capaz de reaccionar con los productos de la hidratación del cemento, y de formar compuestos adicionales que aumentan la densidad de la estructura y mejoran las propiedades mecánicas.

Los autores (Subramaniam et al., 2022), afirman que añadir ceniza de cáscara de arroz como sustituto parcial del cemento permite mejorar el hormigón sobre todo en términos de resistencia y durabilidad, si se utilizan las proporciones idóneas, su efecto puzolánico disminuye la porosidad y mejora su microestructura, al contrario de la cascara de arroz sin tratar no tiene ninguna función útil, ya que carece de esa sílice reactiva tan importante.

El uso de ceniza de cáscara de arroz (RHA) en mezclas de hormigón da lugar a unos materiales más ligeros con buena capacidad de trabajo y menor permeabilidad. Estas propiedades resultan muy útiles para la fabricación de elementos no estructurales y de prefabricados, ya que mejoran la capacidad de trabajo y disminuyen la capacidad de absorción de agua aumentando la vida útil del hormigón. La disminución de la permeabilidad también ayuda a proteger la estructura de agentes agresivos y a aumentar su vida útil.

Esto está en línea con hallazgos que señalan que la incorporación de RHA, gracias a su contenido de sílice amorfa con alta reactividad puzolánica, densifica la matriz del hormigón y mejora propiedades fundamentales como la resistencia mecánica y la durabilidad, a la vez que reduce el peso específico del material y mantiene o mejora la trabajabilidad cuando se dosifica adecuadamente.

De acuerdo con (Ali et al., 2021), la ceniza de la cáscara de arroz se considera un material puzolánico por su alto contenido en dióxido de silicio amorfo que puede superar el 80% cuando se produce en adecuadas condiciones de calcinación, la sílice activa se combina con el hidróxido de calcio que se libera durante la hidratación del cemento generando más silicatos de calcio hidratados que incrementan la resistencia del hormigón.

Cuando se agrega ceniza de cáscara de arroz quemada a altas temperaturas al hormigón, se consigue una mezcla más compacta y fuerte esto ayuda a que el hormigón sea más duradero, especialmente cuando está expuesto a productos químicos que podrían dañarlo con el tiempo.

La ceniza de cáscara de arroz calcinada aporta una mejora real a la resistencia del hormigón contra agentes químicos que lo pueden dañar con el tiempo al mismo tiempo utilizar este residuo agrícola ayuda a reducir el desperdicio y disminuye la dependencia de materiales tradicionales, lo que contribuye a que la construcción sea más sostenible y amigable con el ambiente.

Según (Ali et al., 2021), el rendimiento puzolánico de la ceniza de cáscara de arroz RHA viene determinado fundamentalmente por dos factores esenciales, la temperatura de cocción y la finura del producto resultante de la misma, si la temperatura es excesiva la sílice amorfa puede sufrir un proceso de cristalización reduciendo de forma notable su capacidad de reaccionar químicamente ha diferencia que la pulvericen fina aumenta la zona de contacto del polvo permitiendo una mejor interacción con la mezcla de cemento y al final una mayor contribución en la resistencia y durabilidad del concreto.

Cuando se combina la ceniza de cáscara de arroz con ciertos agregados finos, el hormigón mejora su resistencia esto ocurre porque la ceniza funciona como un relleno muy fino que compacta mejor la mezcla, ayudando a que el material soporte mejor las fuerzas que intentan doblarlo.

(Farid et al., 2023), determinan que la ceniza de cáscara de arroz es un residuo agroindustrial con un enorme valor para crear hormigones sostenibles de nueva generación debido a su alto nivel de sílice amorfa, al quemarla de forma controlada la ceniza adquiere una gran capacidad puzolánica permitiéndole reemplazar parte del hormigón como material complementario su sílice reactiva se combina con el hidróxido de calcio emitido durante la hidratación del cemento formando más hidratos de silicato de calcio (CSH) que compactan la estructura mejorando la resistencia y reducen la porosidad y la permeabilidad.

La ceniza de cáscara de arroz puede darle mucho al hormigón. Ayuda a que conserve mejor el agua, evita que salgan grietas, lo hace más fuerte y, si se quema de la forma correcta, mejora su calidad. Es increíble que algo que normalmente se desecha pueda convertirse en un material útil y más amigable con el medio ambiente.

Según (Castro et al., 2021), las cenizas obtenidas de la cocción controlada de cáscara de arroz de Manabí (Ecuador) se analizaron variando las temperaturas y el tiempo de cocción, se utilizaron métodos como la fluorescencia de rayos X para el análisis químico y la difusión de rayos X para el análisis estructural, resultados revelaron que al calcinarlas entre 600 °C y 650 °C por 60 a 90 minutos las cenizas logran un alto contenido de sílice con una estructura mayoritariamente amorfa ideal para usarla como material puzolánico y reemplazar en ciertas medidas al cemento.

Estos hallazgos refuerzan la idea de que la ceniza de cáscara de arroz ya no es simplemente un residuo que puede ser utilizado, sino que también tiene el potencial de aumentar significativamente las características mecánicas del concreto. La mejora de la capacidad de resistencia a la compresión ofrece la posibilidad de construir obras más fuertes con menos cemento, lo que permite reducir al mínimo el daño ambiental causado por la producción de cemento. Además, la mejora lograda mediante esta sustitución sugiere que el material tiene estabilidad a lo largo del tiempo, lo cual es crucial para la durabilidad de tales estructuras. El uso de materiales alternativos es un paso notable hacia la consecución de una mayor eficiencia y sostenibilidad en la construcción.

El uso de ceniza de cáscara de arroz como aditivo para el concreto mejorar su capacidad para resistir la penetración de agua y otras sustancias nocivas. Esto conduce a una reducción significativa en la permeabilidad, mejorando así la durabilidad del material frente a agentes agresivos como los cloruros y sulfatos, que son comunes en entornos marinos e industriales sin embargo el autor también enfatiza que, para lograr estos beneficios el contenido de agua en la mezcla debe estar equilibrado, no demasiado alto ni demasiado bajo, además de utilizar aditivos plastificantes esto ayuda a garantizar una trabajabilidad equilibrada y evita una rigidez excesiva que haría que el concreto sea difícil de manejar logrando así un rendimiento estructural y durabilidad a largo plazo.

Estos avances muestran cómo los aditivos naturales permiten la modificación de materiales tradicionales en alternativas más duraderas y sostenibles. Las mejoras observadas en la impermeabilidad y la compactación del concreto aumentan la durabilidad del material, especialmente en entornos susceptibles a ataques químicos agresivos. Por lo tanto, el uso de estos materiales puzolánicos no solo sirve para resolver requerimientos técnicos, sino también para cumplir con los objetivos ambientales y económicos deseados, lo que hace que la construcción sea más eficiente y responsable.

Capítulo 2: Materiales y Metodología Aplicada

2.1 Materiales

Recursos materiales y económicos

Tabla 1. *Detalle de los recursos materiales y económicos necesarios para la elaboración del proyecto*

Nº	Descripción	Cantidad (U)	Valor unitario \$	Valor total \$
1	Cemento	2	8,50	17
2	Arena	4	1,25	5
3	Ripio	6	1,25	7,50
4	Cascaras de arroz	2	1	1
			Total	30,5

La siguiente tabla muestra los materiales utilizados que se necesitaron para realizar este proyecto investigativo detalla materiales básicos como el cemento, arena y el ripio y la cáscara de arroz que incluye sus cantidades y precios, cabe recalcar que también se utilizó agua en los diferentes ensayos el cual no tuvo ningún costo ya que el laboratorio de suelos y hormigón de la ULEAM nos facilitó.

Recursos institucionales

Tabla 2. *Detalle de los recursos institucionales y lugar de origen.*

Equipo / laboratorio	Área	Facultad
Máquina de ensayo a compresión	Hormigón	Ingeniería Civil
Máquina de ensayo a flexión	Hormigón	Ingeniería Civil
Cono de Abrams	Hormigón	Ingeniería Civil

Varilla de compactación	Hormigón	Ingeniería Civil
Mazo para compactación	Hormigón	Ingeniería Civil
Cilindros para ensayo	Hormigón	Ingeniería Civil
Juego de tamices	Suelos y agregados	Ingeniería Civil
Horno de secado	Suelos y agregados	Ingeniería Civil
Balanza de laboratorio	Suelos y agregados	Ingeniería Civil
Bandeja metálica	Suelos y agregados	Ingeniería Civil
Bailejo	Suelos y agregados	Ingeniería Civil

El cuadro de recursos institucionales presenta todos los equipos y materiales que se utilizaron en cada uno de los ensayos el cual fueron prestados por el laboratorio de suelo y hormigón de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, además, su uso no tuvo ningún costo económico para el proyecto investigativo.

Recursos humanos

Tabla 3. *Detalle de los recursos humanos y su aporte en el desarrollo del proyecto.*

Nombre	Función o cargo	Aporte al proyecto
Andy Leonel Calderón Cedeño	Estudiante	Elaboración del proyecto o titulación
Leonardo Fabian Cedeño Macías	Estudiante	Elaboración del proyecto o titulación
Ing. Efren Segundo Loor Loor	Tutor del Proyecto	Académico
Personal del Laboratorio de Suelos y Hormigón	Técnicos de laboratorio	Asesoría técnica y apoyo en el uso de equipos de compresión y flexión

Los estudiantes responsables de la tesis participaron de forma directa en el desarrollo del proyecto junto con el tutor quien brindó el apoyo y conocimiento en todo momento, fue fundamental la ayuda del personal del laboratorio el cual orientaron y compartieron experiencias basadas en el uso de los equipos del laboratorio.

2.2 Metodología Aplicada

La metodología que se aplicó en este proyecto es de carácter experimental, la cual se basa en la observación y la medición directa de fenómenos mediante la manipulación directa de las variables. Esta metodología es utilizada en gran medida en campos como la ingeniería, ciencias aplicadas, construcción, entre otros, ya que esta otorga la posibilidad de adquirir datos empíricos que son esenciales para verificar hipótesis, o modelos planteados.

La metodología experimental nos permitió evaluar las propiedades del hormigón convencional y el hormigón con cascara de arroz por medio de los respectivos ensayos de compresión, tracción indirecta, flexión y trabajabilidad. En cuanto a la base teórica se tomaron en cuenta, artículos, proyectos, revistas, con una antigüedad no mayor a 5 años, y que se encuentran en los idiomas español e inglés. Por otro lado, para los ensayos llevados a cabo se siguió el procedimiento establecido en las normas INEN y para la obtención de la dosificación de un concreto de resistencia a la compresión de 210kg/cm^2 se aplicó el método del ACI 211.1.

2.3 Ensayos a los Materiales

2.3.1 Ensayo para Determinación del Material más Fino que pasa el Tamiz con Aberturas de $75\mu\text{m}$ (No. 200) Mediante Lavado (NTE INEN 697)

Para la realización de este ensayo primero se tomó una muestra del agregado fino y se seco en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas y seguidamente se peso para obtener el peso seco de la muestra. Dicha muestra se procedió a lavar con agua por el método de decantación y el agua de lavado se la paso el tamiz No. 200 filtrando así las impurezas, este proceso se repitió hasta que el agua se viera completamente transparente, posterior a esto lo retenido por el tamiz No. 200 se regreso al recipiente de la muestra y se secó durante 24 horas en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, inmediatamente se peso de nuevo para obtener el peso seco lavado.

Como resultado de este ensayo se determinó que el porcentaje de material más fino que pasaron por el tamiz No. 200 fue de 3,71%, el cual se encuentra dentro de lo permitido por la NTE INEN 697, la cual indica un máximo del 5%.

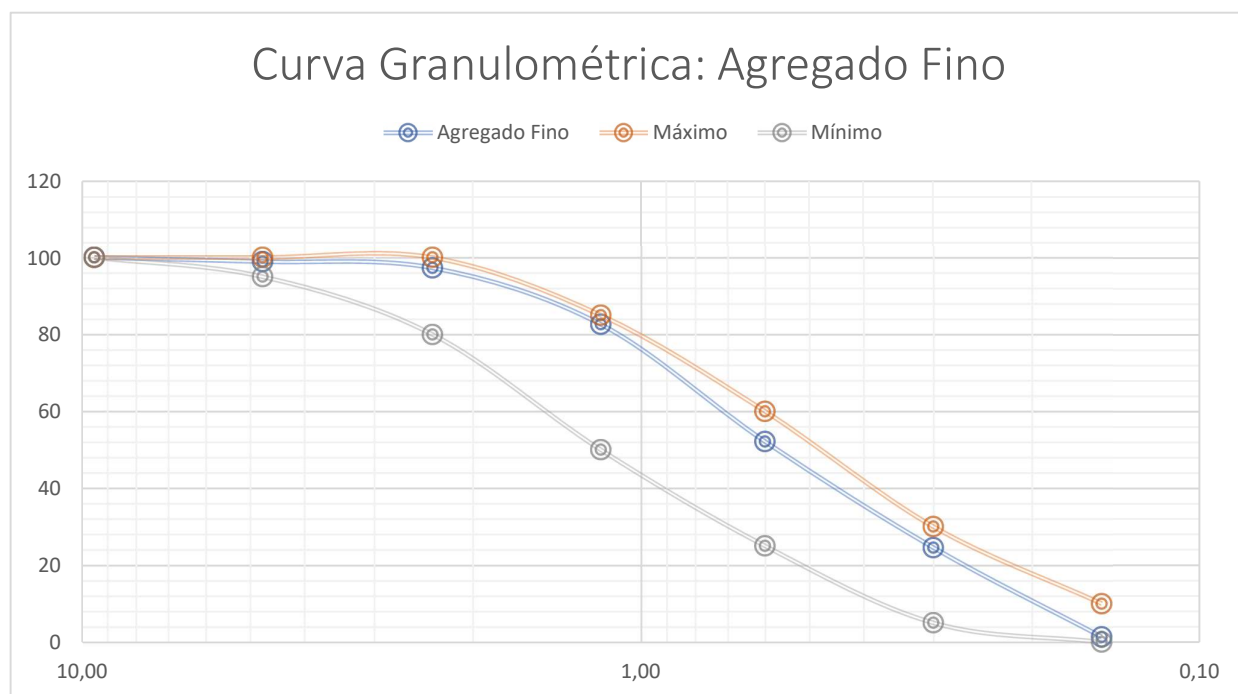
2.3.2 Ensayo del Análisis Granulométrico en los agregados finos y gruesos (NTE INEN 696)

Para la elaboración de este ensayo se necesitó del uso de los tamices No: 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200. Se tomo una muestra representativa tanto para el agregado fino como el agregado grueso, se secaron en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 1 día. Una vez seca las muestras se pasaron por los tamices anteriormente mencionados sin rellenar en exceso cada tamiz y agitándolos manualmente, posterior a esto se peso lo retenido en cada tamiz y se procedió con hacer los cálculos para la obtención de módulo de finura.

Tabla 4. *Granulometría Agregado Fino*

Granulometría Agregado fino						
Tamiz		Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Retenido Parcial %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado %
No.	(mm)					
3/8"	9,50	0	0	0	0	100
4	4,75	8,1	8,1	1	1	99
8	2,36	12,3	20,4	2	3	97
16	1,18	110,8	131,2	15	17	83
30	0,60	230,2	361,4	30	48	52
50	0,30	208,4	569,8	28	75	25
100	0,15	175,2	745	23	99	1
Fondo		10,2	755,2	1	100	0
Total		755,2				
Módulo de finura		2,43				

Gráfico 1. *Curva Granulométrica Agregado Fino*

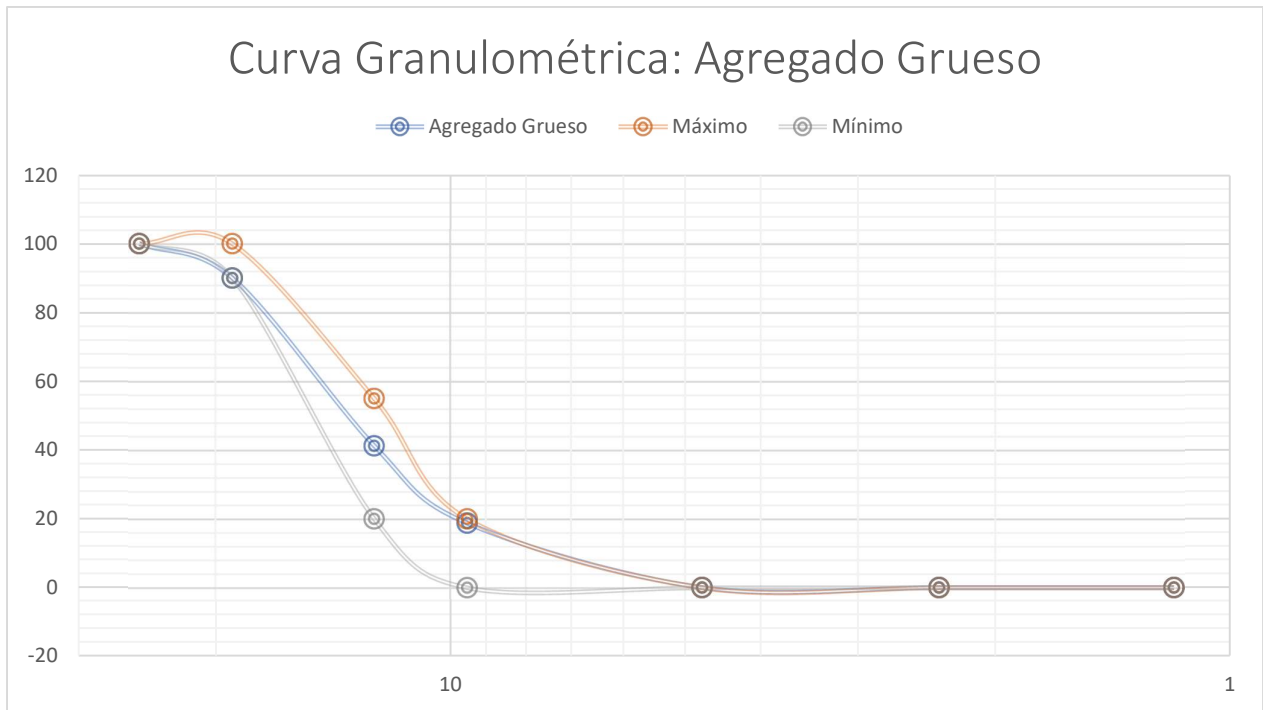


Fuente: elaboración propia

Tabla 5. *Granulometría del Agregado Grueso*

Granulometría Agregado Grueso						
Tamiz No.	Tamiz (mm)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Retenido Parcial %	Retenido Acumulado %	Pasante Acumulado %
1"	25	0	0	0	0	100
3/4"	19	482,7	482,7	9	9	91
1/2"	12,5	2549,8	3032,5	49	58	42
3/8"	9,5	1175,7	4208,2	23	81	19
4	4,75	977,9	5186,1	19	100	0
8	2,36	0	5186,1	0	100	0
16	1,18	0	5186,1	0	100	0
Fondo		4,8	5190,9	0	100	0
Total		5190,9				
Módulo de finura		4,49				

Gráfico 2. *Curva Granulométrica Agregado Grueso*



2.3.3 Ensayo para Determinar la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso (NTE INEN 857)

Primero se secó una muestra del agregado grueso a una temperatura de 110 ± 5 °C, una vez seca se dejó enfriar al ambiente durante 2 horas, posteriormente se sumergió la muestra en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. Transcurrido este tiempo se retiró la muestra del agua y se secaron todas las partículas superficiales de agua con la ayuda de un paño absorbente para registrar el peso de la muestra en su estado saturado superficialmente seca, una vez hecho esto, se sumergió nuevamente para determinar su masa aparente en agua a una temperatura de 23 ± 2 °C y por último se secó en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C para determinar su peso seco.

Cálculos:

- A= Masa de la muestra seca (g) 1972.4
- B= Masa de la muestra Saturada superficialmente seca (g) 1996.1
- C=Masa de la muestra sumergida en agua (g) 1181.4

$$Densidad\ Relativa = \frac{A}{B - C} = \frac{1972.4}{1996.1 - 1181.4} = 2.42g/cm^3$$

$$Densidad\ Saturada\ superficialmente\ seca = \frac{B}{B - C} = \frac{1996.1}{1996.1 - 1181.4} = 2.45g/cm^3$$

$$Densidad\ Relativa\ Aparente = \frac{A}{A - C} = \frac{1972.4}{1972.4 - 1181.4} = 2.49g/cm^3$$

$$\% Absorción = \frac{B - A}{A} * 100 = \frac{1996.1 - 1972.4}{1972.4} * 100 = 1.2\%$$

2.3.4 Ensayo para Determinar la Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Fino (NTE INEN 856)

Para el desarrollo de este ensayo primero se tomó una muestra del árido fino y se secó en el horno por aproximadamente 1 día, luego esta se sumergió en agua durante 24 horas con la intención de rellenar todos sus poros con agua. Una vez transcurrido este tiempo se eliminó el exceso de agua cuidadosamente para evitar la pérdida de las partículas más finas, cuando este se encontraba seco se procedió a colocar parte de la muestra en un molde y compactarlo con 25 golpes, posterior a ello se retiró el molde y una pequeña parte se desmoronó lo que nos indicó que el árido se encontraba en su estado superficial seco. Después se llenó el picnómetro con agua y se le añadieron 500g de la muestra de nuestro agregado fino y se agitó manualmente el picnómetro para eliminar las partículas de aire y posterior a ello determinar su masa. Una vez hecho esto, se procedió a secar la muestra nuevamente en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y obtener su masa seca.

Cálculos:

- A= 248,5 g; masa del picnómetro
- B= 748,5 g; masa del picnómetro + masa del árido fino SSS
- C= 1541.4 g; masa del picnómetro + agua + masa del árido fino SSS
- D= 1248.9 g; masa del picnómetro + agua
- E= 498 m³; volumen desalojado
- F= 487,5 g; masa del árido fino SSS
- G= 478,9 g; masa del árido fino seco

$$\text{Densidad Saturada superficialmente seca} = \frac{F}{D + F - C} = 2.5 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{G}{D + F - C} = 2.45 \text{ g/cm}^3$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{F - G}{G} * 100 = 1.8\%$$

2.3.5 Ensayo para determinar el contenido de humedad de los agregados para hormigón (NTE 862)

Se tomo una muestra de cada árido tanto grueso como fino y se procedió a secar en el horno a una temperatura constante, para prevenir la perdida de partículas de ambos agregados. Pasado alrededor de 24 horas se retiraron ambas muestras y se continuo con el pesado para obtener su masa seca y así realizar los cálculos establecidos para determinar el contenido de humedad de los agregados finos y gruesos.

W_{sa} = masa de la muestra seca del árido fino

W_a = masa de la muestra original del árido fino

$\%W_w$ = contenido de humedad de la muestra

W_{sp} = masa de la muestra seca del árido grueso

W_p = masa de la muestra original del árido grueso

Contenido de humedad árido fino

$$\%W_{w1} = \frac{W_a - W_{sa}}{W_{sa}} * 100 = \frac{500 - 479.6}{479.6} * 100 = 4.25\%$$

$$\%W_{w2} = \frac{W_a - W_{sa}}{W_{sa}} * 100 = \frac{500 - 478.4}{478.4} * 100 = 4.52\%$$

$$\%W_{wprom} = 4.39\%$$

Contenido de humedad árido grueso

$$\%W_w = \frac{W_p - W_{sp}}{W_{sp}} * 100 = \frac{500 - 493.19}{493.19} * 100 = 1.38\%$$

2.3.6 Ensayo para determinar impurezas orgánicas en el árido fino para concreto (NTE INEN 855)

Primero se llenó un recipiente de vidrio con una muestra de agregado fino hasta llenar un volumen de 130ml y posteriormente se le agrego una solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen ocupado tanto por el agregado fino como por el hidróxido de sodio alcanzaran aproximadamente 200ml, esta se agito manualmente y se dejó reposar por aproximadamente 24 horas. Pasado este tiempo se llenó la botella hasta alcanzar los 75 ml con la solución de color. Una vez hecho esto se compararon el color de luz transmitida de la muestra con la solución del color de referencia y con ayuda de la escala normalizada de Gardner que se muestra en la tabla xxx se determinó que nuestra muestra contine un bajo índice de impurezas y es óptima para la elaboración de concreto.

Tabla 6. *Relación entre la escala de color Gardner y el comparador de colores*

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

Fuente: NTE INEN 855

Tabla 7. *Resultados del ensayo de color del agregado fino*

Resultados del ensayo						
Procedimiento	Solución de color normalizado					x
	Comparador de colores					
Color Natural de la muestra						
Contenido orgánico de aceptable	Si	x	No			
Color escala de Gardner	1	2	3	4	5	
		x				

Fuente: elaboración propia

2.3.7 Ensayo para determinar la degradación del árido grueso mediante la máquina de los Ángeles (NTE 860)

Primero se procedió a limpiar el material, hasta que el agua saliera completamente clara y se puso a secar en el horno a una temperatura constante durante 24 horas. Al día siguiente, una vez seco el material se pesó para verificar que tuviera los 5000g o 5kg y se lo colocó en la máquina Los Ángeles, se procede con 12 esferas de acero con un diámetro de 46 a 48 mm y cada una con una masa de 390 a 445 g. Después se acciono la máquina para hacer girar el tambor a una velocidad de 30 a 33r.p.m. durante 500 revoluciones. Luego de esto, se retiró las esferas y el material cuidando de no perder este durante la descarga. Posteriormente se separa la muestra con el tamiz No.12, lo que este retuvo se lavó como se realizó con anterioridad, se secó en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y de esta manera obtener su peso final.

Cálculo

Peso inicial = 5.000g

Peso final = 3.936g

$$\% \text{ Perdida máxima} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$

$$\% \text{ Perdida máxima} = \frac{5000g - 3936g}{5000g} * 100 = 21,28\%$$

2.3.8 Ensayo para determinar la masa unitaria y el porcentaje de vacíos (NTE INEN 858)

Primero se tomó la muestra necesaria para rellenar el molde y evitar la segregación, esta se secó en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Una vez seca nuestra muestra se procedió a llenar una terca parte del recipiente, se niveló la superficie y se compactó con 25 golpes usando una varilla lisa de 16mm de diámetro, se repitió el proceso hasta llenar el molde y en la última capa se enrasó haciendo uso de una regleta. Por último, se midieron las masas del molde y de la muestra.

Cálculos

Agregado fino

A= 7,47 kg; masa de la muestra compactada + masa del molde

B= 6,97 kg; masa de la muestra suelta + masa del molde

C= 2,38 kg; masa del molde

D= 998,89 kg/m³; densidad del agua

E= 0.0032 m³; volumen del molde

Da= densidad aparente

Peso unitario suelto

$$Peso\ Unitario\ Suelto = \frac{B - C}{E} = 1434,38 kg/m^3$$

Peso unitario compactado

$$Peso\ Unitario\ Compactado = \frac{A - C}{E} = 1590,63 kg/m^3$$

Porcentaje de vacíos sueltos

$$\%vacios = \frac{((Da * D) - Pu)}{(Da * D)} * 100 = 35\%$$

Agregado grueso

A= 6,89 kg; masa de la muestra compactada + masa del molde

B= 6,97 kg; masa de la muestra suelta + masa del molde

C= 2,38 kg; masa del molde

D= 998,89 kg/m³; densidad del agua

E= 0.0032 m³; volumen del molde

Da= densidad aparente

Peso unitario suelto

$$Peso\ Unitario\ Suelto = \frac{B - C}{E} = 1203,13\ kg/m^3$$

Peso unitario compactado

$$Peso\ Unitario\ Compactado = \frac{A - C}{E} = 1409,38\ kg/m^3$$

Porcentaje de vacíos sueltos

$$\%vacios = \frac{((Da * D) - Pu)}{(Da * D)} * 100 = 41.7\%$$

2.4 Elaboración de la mezcla de hormigón por el método del American Concrete Institute ACI 211.1

Para la elaboración correcta de la mezcla de hormigón y este alcance la resistencia a la compresión deseada que en nuestro caso fue de 210kg/cm², se siguió el procedimiento establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 para obtener una resistencia mayor a la deseada y garantizar la seguridad del alcance de esta como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 8. Resistencia especificada f'_c y resistencia media requerida f'_{cr} del hormigón

Resistencia especificada f'_c (MPa)	Resistencia media Requerida f'_{cr} (MPa)
<21	$f'_c+7,0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_c+8,5$
>35	$1,10f'_c+5,0$

Fuente: (NEC-SE-HM, 2015)

Una vez especificada la resistencia requerida se determinó el tamaño nominal de nuestro agregado grueso y con ayuda de la siguiente tabla del ACI 211.1-91 se estableció el agua necesaria para condiciones ideales.

Tabla 9. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado

Tamaño máximo de la grava (mm)								
Revenimiento (cm)	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2,5->5	207	199	190	179	166	154	130	113
7,5->10	228	216	205	193	181	169	145	124
15->17,5	243	228	216	202	190	178	160	
Aire aproximado %	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
2,5->5	181	175	168	160	150	142	122	107
7,5->10	202	193	184	175	165	157	133	119
15->17,5	216	205	197	174	174	166	154	
Promedio recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)								
Exposición Ligera	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición Moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición Severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Fuente: ACI 211.1-91-Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto – IMCY

A continuación, se estableció la relación agua/cemento la cual es uno de los componentes más importantes en el diseño de mezclas de concreto, para ello se hizo uso de la tabla 10 presente en el ACI 211.1-91.

Tabla 10. *Relación agua cemento y resistencia a la compresión*

Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Relación agua/cemento	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0,41	
350	0,48	0,4
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Fuente: ACI 211.1-91-Tabla 6.3.4 (a); Diseño de mezclas de concreto – IMCY

De la misma forma siguiendo con lo establecido por el método del ACI, se procedió a determinar la cantidad de agregado grueso con ayuda de la tabla 11. Como el modulo de finura de nuestro agregado fino no se encuentra establecido en dicha tabla, se realizó una interpolación.

Tabla 11. *Módulo de finura de la arena*

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Módulo de finura de la arena			
	2,4	2,6	2,8	3
9,5	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,6
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,8	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: ACI 211.1-91-Tabla 6.3.6 (a); Diseño de mezclas de concreto – IMCY

Con todos estos valores ya determinados se hicieron los respectivos cálculos para determinar el volumen del cemento, agua, grava y arena. Posterior a ello, se realizaron las correcciones de agua de mezclado, ya que se debe tomar en cuenta la absorción de los agregados y su contenido de humedad, esto para obtener una correcta hidratación y alcanzar la resistencia deseada.

2.5 Ensayos al hormigón

2.5.1 Ensayo de muestreo para hormigón recién mezclado (NTE INEN 1763)

La mezcla se realizó en una mezcladora estacionaria, se esperó a que todos los materiales componentes del hormigón incluido el agua se encontraran completamente mezclados para proceder con la extracción de dos proporciones de la mezcla, en intervalos de tiempo adecuados y sin cortar el flujo del mezclado para no afectar a la misma y conformar una muestra compuesta.

2.5.2 Ensayo para determinar la temperatura del hormigón en estado fresco (NTE INEN 3119)

Una vez extraída la muestra se la colocó en un recipiente y se procedió con la toma de la temperatura ubicando el termómetro asegurando de que este se encontrara rodeado por lo menos de 75mm de hormigón en todas sus direcciones, después se hizo una presión suave sobre la superficie del hormigón alrededor del termómetro para cerciorar que se cierren los vacíos y se esperó un periodo de 3 minutos para hacer la lectura de la temperatura.

Como resultado de este ensayo fue una temperatura de 24,9⁰C la cual es una temperatura aceptable según lo establecido por esta norma.

2.5.3 Ensayo para determinar el asentamiento del hormigón (NTE INEN 578)

Primero se prepararon los materiales, humedeciendo tanto el cono de Abrams como la varilla de acero con diámetro de 16mm como lo indica la norma. Con la mezcla de hormigón ya lista se relleno la primera y se procedió a compactar con 25 golpes distribuyendo la mezcla hacia el perímetro del molde y asegurándonos que la varilla penetrara en toda su profundidad, para las siguientes dos capas se cercioró que la varilla penetrara hasta una pequeña parte de la capa anterior. Al llenarse el cono se enraso con la varilla y de manera inmediata se levanto el cono de Abrams, este se volteo y posiciono a un lado de la mezcla para medir su asentamiento.

Como resultado del presente ensayo se obtuvo que todas las mezclas tuvieron un asentamiento dentro del rango de 8 a 12cm.

2.5.4 Ensayo para la elaboración y curado de especímenes de concreto (NTE INEN 3124)

Primero se mezcló en el hormigón en la mezcladora tipo tambor, pasados los 3 minutos para asegurarnos que se mezclaran uniformemente todos los componentes del concreto se procedió con el llenado de los especímenes en recipientes cilíndricos, estos se rellenaron en diferentes capas, cada una de ellas se compactaron haciendo uso de una varilla de 16mm de diámetro y se vibró dando golpes con un mazo de goma para que se liberaran las burbujas de aire atrapadas en el concreto.

Pasado 24 horas se desmoldaron los especímenes y se sumergieron en agua para su proceso de curado.

2.5.5 Ensayo para determinar la densidad, rendimiento y contenido de aire en el concreto (NTE INEN 1579)

Como primer paso se pesó el molde, una vez preparada la mezcla de concreto se continuo con el llenado del molde en diferentes capas, compactadas correctamente y con la menor cantidad de burbujas de aire atrapadas en el concreto, se procedió a determinar su masa.

Como resultado de los respectivos cálculos para determinar su porcentaje de contenido de aire se obtuvo un 2,1%.

2.5.6 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón (NTE INEN 1573)

Siguiendo con el procedimiento establecido en la norma para el ensayo de resistencia a la compresión del concreto, se procedió a retirar el hormigón de la piscina de curado transcurrido los 7, 14 y 28 días. Se limpiaron las ambas caras del concreto y se le colocaron con almohadillas de neopreno para proceder a ubicarlos en la máquina de compresión, en la cual se le fue aplicando de manera continua ascendente una fuerza puntual hasta alcanzar su punto de rotura.

2.5.7 Ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (NTE INEN 2554)

Primero se realizó el espécimen con ayuda de un encofrado cuyas medidas son 15x15x50cm, pasado las 24 horas este se desmoldo y se colocó en las piscinas de curado. Una vez transcurrido el tiempo de curado, se retiró el espécimen e inmediatamente se procedió con el ensayo a flexión ya que según la NTE INEN 2554 los especímenes con superficies secas presentan una reducción en la resistencia a flexión. Los soportes del espécimen se ubicaron a 25mm del extremo de la viga y esta se dividió en 3 partes iguales. Se aplico la carga a la viga de manera continua a velocidad constante y sin impacto hasta el punto de rotura. Una vez culminado esta parte del ensayo se midió la altura y ancho promedio de la viga para poder realizar los cálculos correspondientes y obtener su módulo de rotura.

Capítulo 3: Análisis de Resultados

3.1 Resultado de los ensayos a los materiales

De los diferentes ensayos tanto para el agregado fino como el agregado grueso se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12. Resultados de los distintos ensayos realizado a los áridos

Resultado de los ensayos de los áridos			
Normativa	Ensayo	Agregado Fino	Agregado Grueso
NTE INEN 696	Análisis Granulométrico en los agregados finos y gruesos (M.F.)	2,43	4,5
NTE INEN 857-NTE INEN 856	Determinar la Densidad SSS (g/cm ³)	2,5	2,45
	Absorción del Agregado	1,8%	1,2%
NTE 862	Contenido de humedad de los agregados para hormigón	4,39%	1,38%
NTE 860	Degradación del árido grueso mediante la máquina de los Ángeles	--	21,28%
NTE INEN 858	Masa unitaria (kg/m ³)	1590,63	1409,38
	Porcentaje de vacíos	35%	41,7%

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados fueron de total importancia para comprobar la calidad de los componentes del hormigón, además de la elaboración de la dosificación de la mezcla y que esta pudiera alcanzar los resultados deseados.

3.2 Resultados del método ACI 211.1

Tomando en cuenta todos los factores que intervienen dentro del método ACI se obtuvo la siguiente dosificación:

Tabla 13. Dosificación del hormigón según el método ACI 211.1

Componentes	Kg para 1m ³	Dosificación Estándar
Cemento	351,27	1
Agua	206,67	0,59
Arena	766,01	2,18
Ripio	827,31	2,36

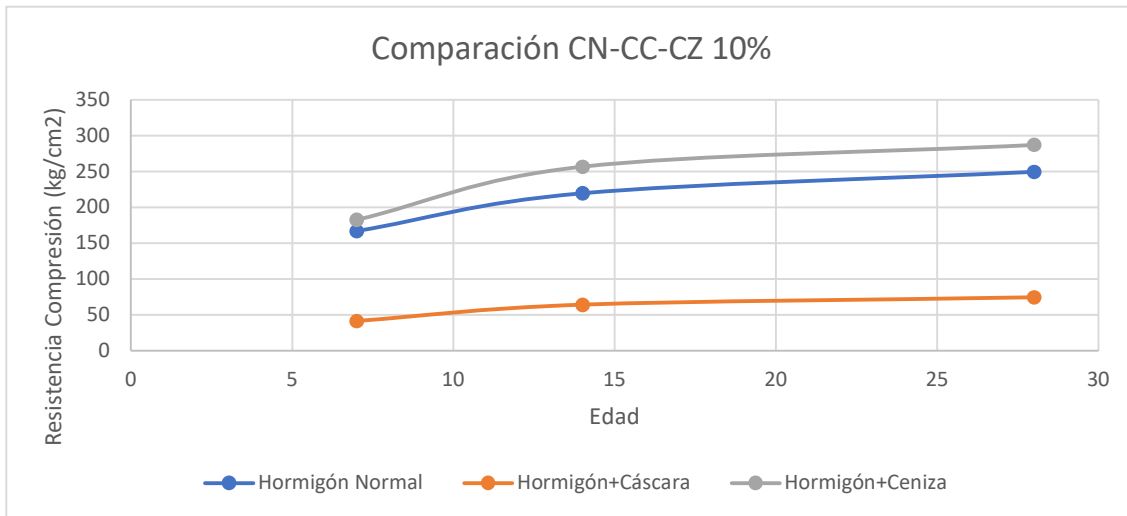
3.3 Resultado de los ensayos al hormigón

3.3.1 Resultado de los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón

Tabla 14. Resistencia a la compresión del hormigón

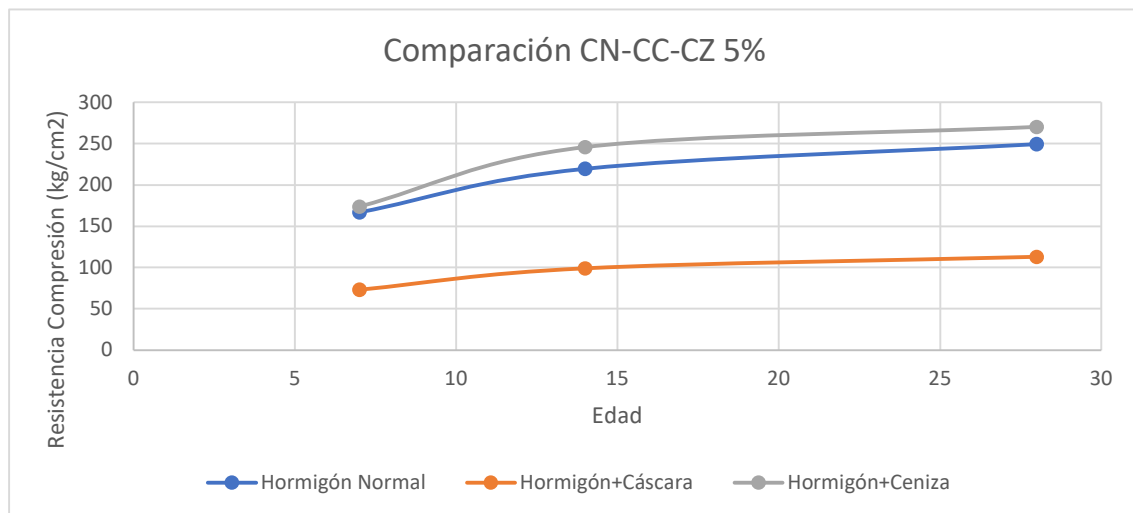
Resultados del Ensayo de Resistencia a la compresión del Hormigón										
Tipo de Hormigón	Muestra	Proporción	Edad (días)	Fecha de elaboración	Fecha de Ensayo	D (cm)	H (cm)	Área Transversal (cm ²)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm ²)
Hormigón Normal	CN-1	N/A	7	19/11/2025	26/11/2025	10,1	20,2	80,12	13111,4	166,9
	CN-2	N/A	14	19/11/2025	3/12/2025	10,1	20,2	80,12	17255,4	219,7
	CN-3	N/A	28	19/11/2025	17/12/2025	10,1	20,2	80,12	19603,8	249,6
Hormigón con Cáscara de arroz	CC-1	10%	7	1/10/2025	8/10/2025	10,1	20,2	80,12	3249,4	41,3
	CC-2	10%	14	1/10/2025	15/10/2025	10,1	20,2	80,12	5039,9	64,1
	CC-3	10%	28	1/10/2025	29/10/2025	10,1	20,2	80,12	5859,1	74,6
Hormigón con Ceniza de arroz	CZ-1	10%	7	1/10/2025	8/10/2025	10,1	20,2	80,12	14341,5	182,6
	CZ-2	10%	14	1/10/2025	15/10/2025	10,1	20,2	80,12	20137,8	256,4
	CZ-3	10%	28	1/10/2025	29/10/2025	10,1	20,2	80,12	22549,0	287,1
Hormigón con Cáscara de arroz	CC-4	5%	7	19/11/2025	26/11/2025	10,1	20,2	80,12	5764,0	73,3
	CC-5	5%	14	19/11/2025	3/12/2025	10,1	20,2	80,12	7783,4	99,1
	CC-6	5%	28	19/11/2025	17/12/2025	10,1	20,2	80,12	8875,1	113,0
Hormigón con Ceniza de arroz	CZ-4	5%	7	19/11/2025	26/11/2025	10,1	20,2	80,12	13642,5	173,7
	CZ-5	5%	14	19/11/2025	3/12/2025	10,1	20,2	80,12	19305,3	245,8
	CZ-6	5%	28	19/11/2025	17/12/2025	10,1	20,2	80,12	21229,6	270,3
Hormigón con Cáscara de arroz	CC-7	3%	7	19/11/2025	26/11/2025	10,1	20,2	80,12	7209,4	91,7
	CC-8	3%	14	19/11/2025	3/12/2025	10,1	20,2	80,12	11710,4	149,1
	CC-9	3%	28	19/11/2025	17/12/2025	10,1	20,2	80,12	13274,3	169,0
Hormigón con Ceniza de arroz	CZ-7	3%	7	19/11/2025	26/11/2025	10,1	20,2	80,12	13234,1	168,5
	CZ-8	3%	14	19/11/2025	3/12/2025	10,1	20,2	80,12	18172,8	231,3
	CZ-9	3%	28	19/11/2025	17/12/2025	10,1	20,2	80,12	20547,0	261,6

Gráfico 3. Comparación de la resistencia a la compresión (10%)



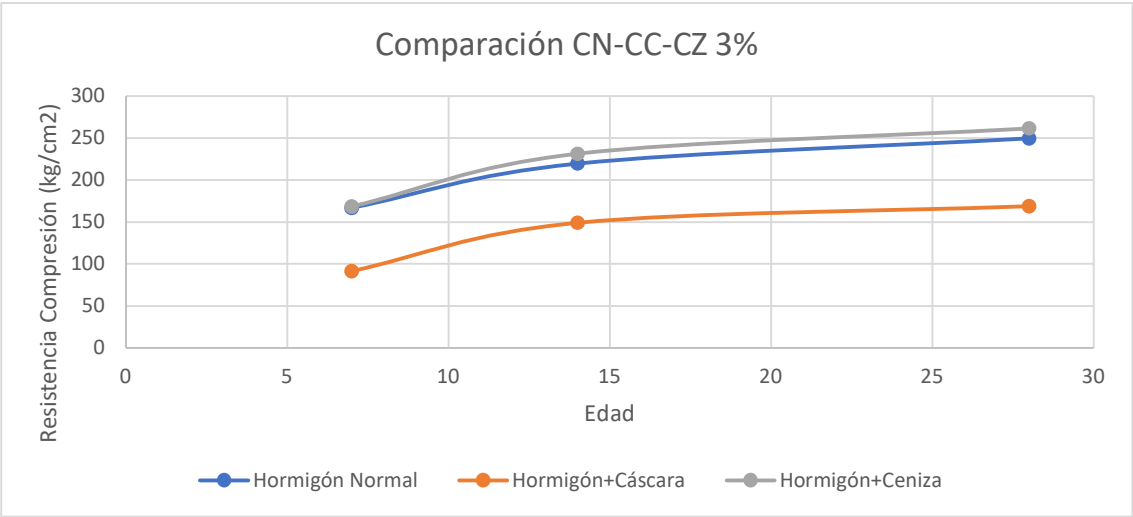
En la gráfica 3 se evidencia un aumento notable en la resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de cáscara de arroz, contrario al hormigón con cáscara de arroz el cual presentó la mayor disminución ambos con una proporción del 10% el peso del cemento.

Gráfico 4. Comparación de la resistencia a la compresión (5%)



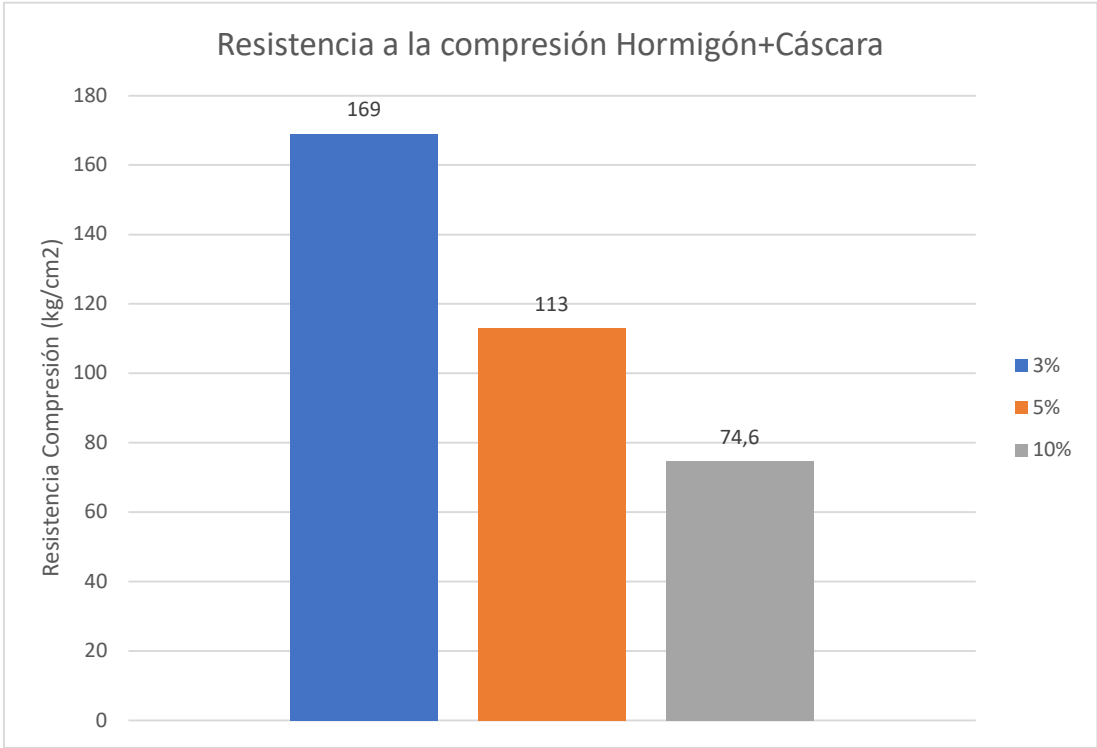
En la gráfica 4 se produce un aumento poco notable en la resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de cáscara de arroz en los primeros 7 días, contrario al hormigón con cáscara de arroz el cual presentó una disminución considerable, ambos con una proporción del 5% el peso del cemento.

Gráfico 5. Comparación de la resistencia a la compresión (3%)



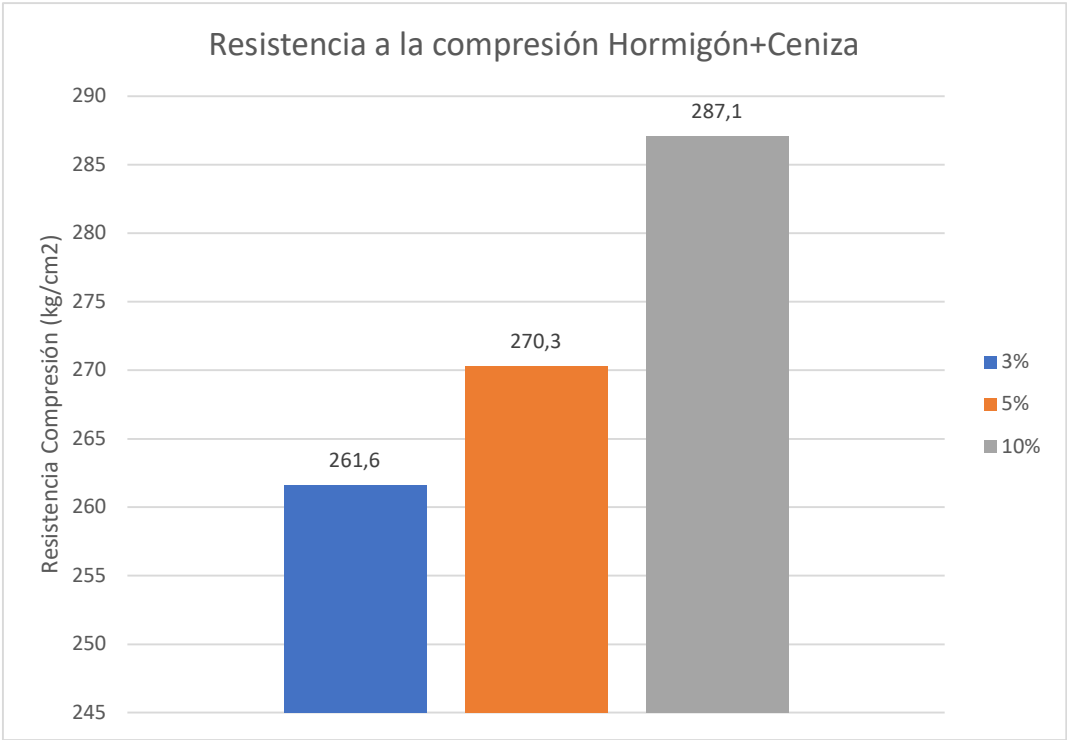
En la gráfica 5 se produce un aumento mínimo en la resistencia a la compresión del hormigón con cenizas de cáscara de arroz en los primeros 7 y 14 días, contrario al hormigón con cáscara de arroz el cual presentó una disminución considerable, ambos con una proporción del 3% el peso del cemento.

Gráfico 6. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con cáscara de arroz



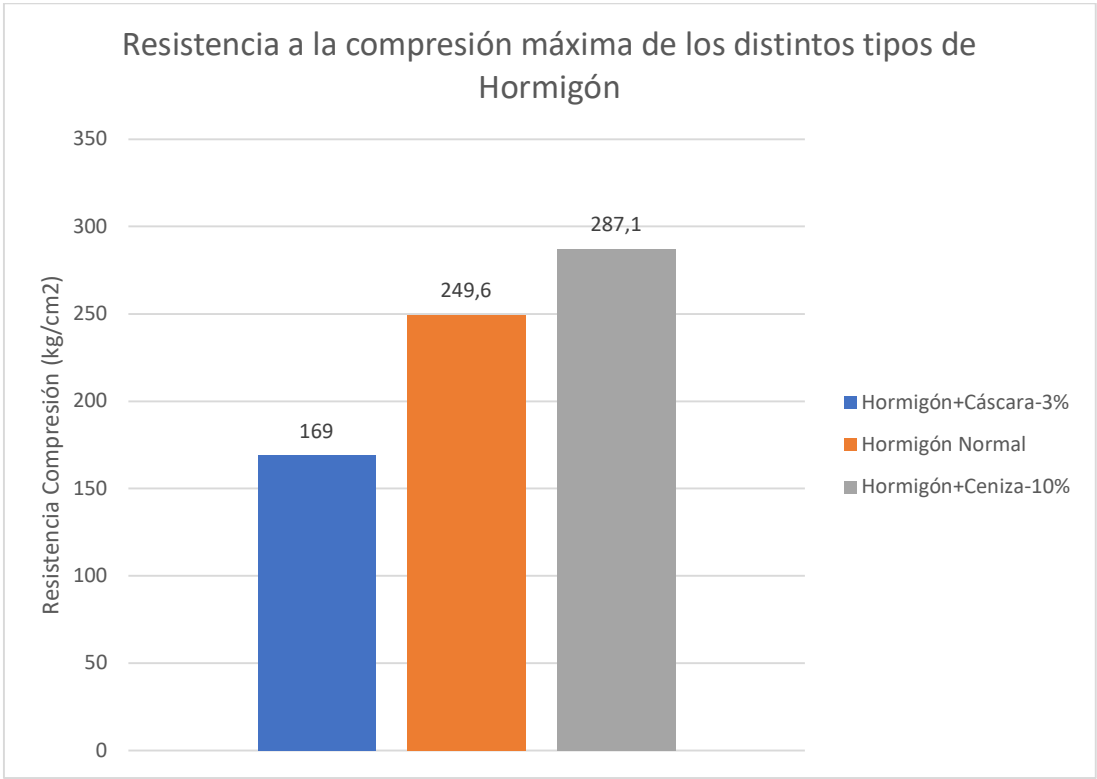
En la gráfica 6 muestra que en cuanto más se aumenta el porcentaje de la cáscara de arroz, se produce la disminución en la resistencia a la compresión del hormigón.

Gráfico 7. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con ceniza cáscara de arroz



El grafico 7 muestra que en cuanto más se aumenta el porcentaje de la ceniza de cáscara de arroz, se produce el aumento considerable en la resistencia a la compresión del hormigón.

Gráfico 8. Comparación de la máxima resistencia a la compresión alcanzada por los distintos tipos de hormigón



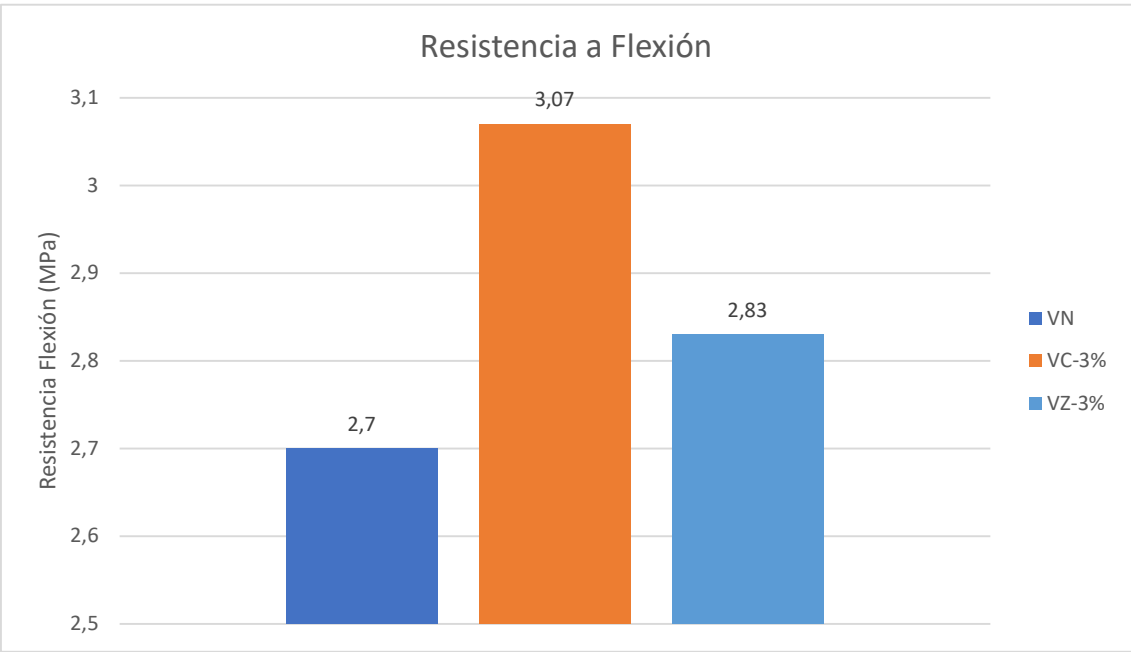
La grafica 8 muestra como al utilizar un 3% de la cáscara de arroz se obtuvo la menor resistencia a la compresión, contrario a la ceniza de la cáscara de arroz que con un 10% se determinó su mayor resistencia.

3.3.2 Resultado de los ensayos de resistencia a la flexión del hormigón

Tabla 15. *Resistencia a la flexión*

Resultados del Ensayo de Resistencia a la compresión del Hormigón										
Tipo de Hormigón	Muestra	Proporción	Edad (días)	Fecha de elaboración	Fecha de Ensayo	B (cm)	H (cm)	L (cm)	Carga (kN)	Módulo de Rotura (MPa)
Hormigón Simple	VN-1	N/A	28	17/12/2025	14/1/2026	15	15	50	15,19	2,7
Hormigón con Cáscara de arroz	VC-1	3%	28	17/12/2025	14/1/2026	15	15	50	17,28	3,07
Hormigón con Ceniza de arroz	VZ-1	3%	28	17/12/2025	14/1/2026	15	15	50	15,92	2,83

Gráfico 9. Resistencia a la flexión de los distintos tipos de hormigón



El grafico 9 se puede apreciar como en ambos casos al añadir un 3% tanto de la cáscara de arroz como ceniza de cáscara de arroz se produjo una mejora en la resistencia a la flexión del hormigón con una clara diferencia al utilizar la cáscara de arroz.

Conclusión

De la realización de los ensayos a compresión se estableció que para el uso de cáscara de arroz su proporción menos desfavorable es con un 3% del peso del cemento, y para la ceniza de cáscara de arroz se concretó un aumento favorable con un 10% del peso del cemento. Por otro lado, en el ensayo de resistencia a la flexión con una proporción del 3% para ambos casos se identificó un aumento. En cuanto a los ensayos de trabajabilidad todas las mezclas presentaron un asentamiento dentro de un rango de 8 a 12cm óptimo para una buena trabajabilidad.

Se determinó que el uso de la cascara de arroz en las proporciones del 3%, 5% y 10%, generan una disminución del 32,29%, 54,73% y 70,11% respectivamente, por lo cual no es recomendable su utilización en elementos sometidos a compresión. En cambio, al añadir la ceniza de cáscara de arroz provoco un aumento del 4,81%, 8,29% y 15,02% manteniendo las mismas proporciones por lo que resultan apropiados emplearlos en elementos estructurales expuestos a compresión. Mientras que para componentes constructivos bajo condiciones a flexión se identificó un incremento de 13,70% con la cáscara de arroz y 4,81% para la ceniza de cáscara de arroz.

En conclusión, el usar tanto la cáscara de arroz como su ceniza aportan una mejora en el comportamiento del hormigón, a flexión (cáscara de arroz) y a compresión (ceniza de cáscara de arroz). Además, la implementación de estos resulta beneficioso para las construcciones sostenibles, aprovechando estos residuos agrícolas que son abundantes en la provincia de Manabí, los cuales muchas veces simplemente son desechados o quemados sin llevar un control.

Recomendaciones

- Se recomienda el uso de la ceniza de cáscara de arroz en una proporción del 10% del peso del cemento para estructuras sometidas a esfuerzos de compresión.
- Se sugiere una proporción del 3% el peso del cemento para cáscara de arroz en elementos que se encuentren expuestos a cargas de flexión.
- Se propone realizar un estudio triturando la cáscara de arroz para determinar el comportamiento del hormigón tanto a compresión como flexión.
- Desarrollar estudios adicionales para evaluar los diferentes porcentajes de cenizas de cáscaras de arroz que se pueden añadir al hormigón con la finalidad de obtener la dosificación más óptima.
- Realizar estudios experimentales con diferentes tipos de desechos agrícolas que puedan ser útiles y aprovechables.

Bibliografía

- Ali, T., Saand, A., Bangwar, D. K., Buller, A. S., & Ahmed, Z. (2021). Mechanical and durability properties of aerated concrete incorporating rice husk ash as partial replacement of cement. *Crystals*.
- Callupe, M. A., & Condezo, R. M. (2023). *Ceniza de cascarilla de arroz y macrofibras sintéticas para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto $F'c = 270 \text{ kg/cm}^2$, Pasco*.
- Castro, M. J., Puig Martínez, R. A., Zamora Ledezma, C., & Zamora, L. E. (2021). Caracterización preliminar de la ceniza de cáscara de arroz de la provincia Manabí, Ecuador, para su empleo en hormigones. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. Retrieved from <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/34823>
- Chen, X., Zhang, L., Yu, H., Ma, H., Qiao, H., Yang, L., . . . Du, Q. (2025). Mechanical performance and durability evolution of high-performance concrete components exposed to western salt lake environment. *Construction and Building Materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142582>
- Compaoré, C., N'Zy, J.-Y. K., Primus, D. E., Sarroney, A., Asumadu, T. K., Obayemi, J. D., & Soboyejo, W. O. (2025). Foam concrete with mineral additives: from microstructure to mechanical/physical properties, workability and durability. *Construction and Building Materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ceram.2025.100812>
- Endale, S. A.-H. (2023). Rice Husk Ash in Concrete. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su15010137>
- Farhan, K. Z., Megat Johari, M. A., & Demirboğa, R. (2021). Impact of fiber reinforcements on the properties of geopolymer composites: A review. *Construction and Building Materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102628>
- Farid, S. A., & Zaheer, M. M. (2023). Producción de hormigón sostenible y de nueva generación utilizando ceniza de cascarilla de arroz (CAR). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.034>
- Habert, G., Miller, S. A., John, V. M., Provis, J. L., Favier, A., Horvath, A., & Scrivener, K. L. (2020). Impactos ambientales y estrategias de descarbonización en las industrias del

- cemento y el hormigón. *Nat Rev Earth Environ*. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 694. (2010). *Hormigón y áridos para elaborar Hormigón. Terminología*.
- L, S. k., M, J. V., & M, G. E. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884618301480?via%3Diuhub#preview-section-abstract>
- Manchenkor, I. G. (2024, Diciembre 17). *Hormigones sostenibles obtenidos por redosificación de hormigón fresco residual*. Retrieved from RINFI: <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/1013>
- Mohamed, A., & Zuaite, A. (2024). Fresh Properties, Strength, and Durability of Fiber-Reinforced Geopolymer and Conventional Concrete: A Review. *Polymers*. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/polym16010141>
- Robinson, U. D., Torres, M. D., & Vilchez, P. H. (2022). Uso sostenible de la cascarilla de arroz para productos de valor añadido. *El Higo Revista Científica*.
- Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018,). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry,. 2-26.
- Siddika, A., Al Mamun, M. A., Alyousef, R., & Mohammadhosseini, H. (2021). State-of-the-art review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*.
- SUÁREZ, E. (2024, Junio 1). Optimización sostenible de propiedades térmicas y mecánicas en concreto mediante aditivos naturales: Enfoque molecular. *VIVIENDA Y COMUNIDADES SUSTENTABLES*, 8(16). doi:<https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i16.283>
- Subramaniam, K. V., & Sathiparan, N. (2022). Rice husk ash based concrete: Properties and sustainability aspects.
- Thiedeitz, M., Schmidt, W., Harder, M., & Kränkel, T. (2020). Performance of rice husk ash as supplementary cementitious material after production in the field and in the lab. *Construction and Building Materials*.

- Thomas, B. S. (2018). Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material – A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.081>
- Vieira, P. A., Filho, T. R., Tavares, L. M., & Cordeiro, C. G. (2020). Effect of particle size, porous structure and content of rice husk ash on the hydration process and compressive strength evolution of concrete,. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819330053?via%3Di> hub
- Winter, G., & Nilson, A. (2021). *Proyecto de Estructuras de Hormigón*. New York: Editorial Reverté. Retrieved from https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788429192650_A41179280/preview-9788429192650_A41179280.pdf
- Xiao, J., Li, W., Fan, Y., & Huang, X. (2023). Durability and pore structure characteristics of concrete: A review. *Construction and Building Materials*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132430>
- Yaseen, N., Alcivar-Bastidas, S., Irfan-ul-Hassan, M., Petroche, D. M., Qazi, A. U., & Ramirez, A. D. (2024). Concrete incorporating supplementary cementitious materials: Temporal evolution of compressive strength and environmental life cycle assessment. *Heliyon*.
- Zuñiga, M. (2021). *Generalidades del Cemento y del Concreto*. Retrieved from https://www.academia.edu/download/65590111/Generalidades_del_Cemento_y_del_Concreto.pdf

Anexos



Anexo 1. Agregado grueso

ARENA DE TRITURACIÓN Y ARENA NATURAL

	Retenido	Retenido	Retenido	Retenido
	Parcial (g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	Acumulado (%)
0.075	0.0	0	0	0
0.15	96.3	10	10	100
0.3	193.4	19	29	90
0.6	159.6	16	45	71
1.18	92.6	9	54	55
2.5	77.8	8	61	46
5.0	272.0	27	88	39
10.0	117.8	12	100	12
100.0				0
Modulo de Finura			2.86	

MANABÍ - ECUADOR
www.megarok.com.ec
teléfonos: (05) 370-1900
1700 - Cantón

Anexo 2. Agregado fino



Anexo 3. Realización de la mezcla de hormigón + ceniza



Anexo 4. Preparación del hormigón + cáscara de arroz



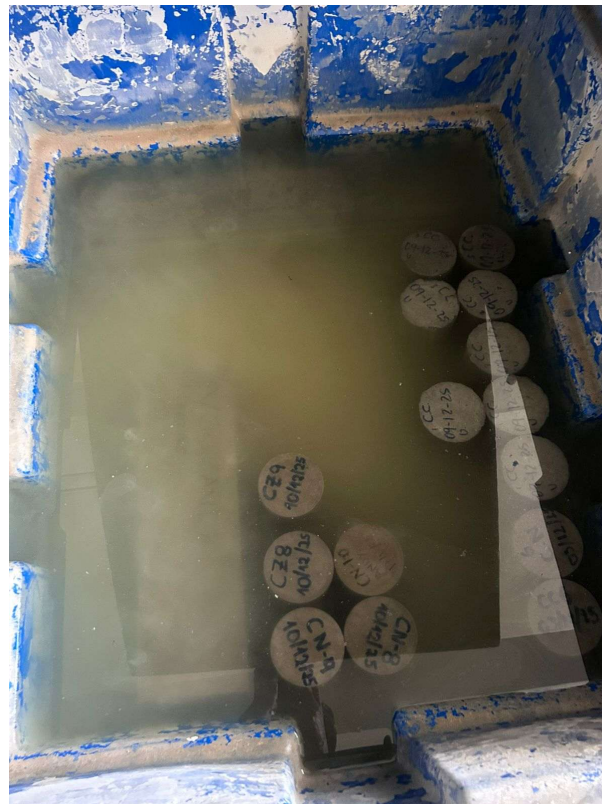
Anexo 5. Ensayo de asentamiento



Anexo 6. Preparación de los cilindros



Anexo 7. Elaboración de vigas para ensayo a flexión



Anexo 8. Proceso de curado del hormigón



Anexo 9. Muestras de hormigón



Anexo 10. Hormigón simple-ensayo a compresión



Anexo 11. Hormigón + ceniza-ensayo a compresión



Anexo 12. Hormigón + cáscara de arroz-ensayo a compresión



Anexo 13. Hormigón + ceniza-ensayo a flexión



Anexo 14. Hormigón simple-ensayo a flexión



Anexo 15. Hormigón + cáscara de arroz-ensayo a flexión