



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**ELABORAR UN MORTERO A BASE DE CAUCHO Y
CASCARILLAS DE ARROZ RECICLADOS COMO AISLANTE
ACUSTICO PARA INFRAESTRUCTURAS URBANAS.**

TUTOR

MGS. ELIANA NOEMI CONTRERAS JORDANA

AUTORES

BRYAN ANDRÉS GODOY ROMOLEROUX

LEONEL ALEXIS OLMEDO CARRILLO.

GUAYAQUIL

2024

| REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA | |
|--|---|
| FICHA DE REGISTRO DE TESIS | |
| TÍTULO Y SUBTÍTULO: ELABORAR UN MORTERO A BASE DE CAUCHO Y CASCARILLAS DE ARROZ RECICLADOS COMO AISLANTE ACUSTICO PARA INFRAESTRUCTURAS URBANAS. | |
| AUTOR/ES: BRYAN ANDRÉS GODOY ROMOLEROUX LEONEL ALEXIS OLMEDO CARRILLO. | TUTOR: MGS. ELIANA NOEMI CONTRERAS JORDANA |
| INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil | Grado obtenido: Ingeniero Civil |
| FACULTAD: INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION | CARRERA: INGENIERIA CIVIL |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: 2024 | N. DE PÁGS: 109 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: Ingeniería, Industria y Construcción | |
| PALABRAS CLAVE: Materiales de construcción– contaminación sonora – Ingeniería de la Construcción – medio ambiente –acústica . | |
| RESUMEN: Este estudio se enfoca en la elaboración de un mortero innovador utilizando materiales reciclados, específicamente caucho y cascarillas de arroz, con el objetivo de mejorar el aislamiento acústico en infraestructuras urbanas. La creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de soluciones eficientes en la construcción motivaron la investigación. Se seleccionaron y prepararon los materiales reciclados, optimizando sus proporciones en la mezcla del mortero. Las pruebas de laboratorio incluyeron la evaluación de la resistencia a la compresión, la absorción de agua y las propiedades acústicas. Los resultados revelaron que el mortero alcanzó una resistencia a la compresión de aproximadamente 20 MPa, lo que lo hace adecuado para aplicaciones no | |

estructurales. En términos de aislamiento acústico, el mortero demostró ser altamente efectivo, reduciendo la transmisión de sonido en un 30% en comparación con morteros convencionales. Además, la mezcla resultante mostró una densidad más baja, lo que favorece su uso en construcciones donde el peso es un factor crítico, como en la rehabilitación de edificios y la construcción en altura. La inclusión de caucho reciclado y cascarillas de arroz no solo mejoró las propiedades técnicas del mortero, sino que también tuvo un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, al reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos y disminuir las emisiones de CO₂. En conclusión, este mortero reciclado ofrece una solución efectiva y ecológica para mejorar la calidad acústica de las infraestructuras urbanas, alineándose con las tendencias actuales de construcción sostenible.

| | | |
|---|--|---|
| N. DE REGISTRO (en base de datos): | N. DE CLASIFICACIÓN: | |
| DIRECCIÓN URL (Web): | | |
| ADJUNTO PDF: | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: Leonel Alexis Olmedo Carrillo Bryan Andrés Godoy Romoleroux | Teléfono: 0930591490 0993612164 | E-mail: lolmedoc@ulvr.edu.ec bgodoyr@ulvr.edu.ec |
| CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN: | Master Ing. Civil. Marcial Sebastián Calero Amores (Decano) Teléfono: 042-596500 Ext. 260 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr. Ing. Civil Jorge Enrique Torres Rodríguez (Director de Carrera) Teléfono: 042-596500 Ext. 242 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec | |

CERTIFICADO DE SIMILITUD

GODOY-OLMEDO-MORTERO-AISLANTE-ACUSTICO-FINAL 28.8
(1).docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 4% | 4% | 1% | 1% |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | repositorio.uide.edu.ec Fuente de Internet | 2% |
| 2 | repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 3 | repositorioinstitucional.ufpso.edu.co Fuente de Internet | 1% |

| | | | |
|----------------------|---------|-----------------------|------|
| Excluir citas | Apagado | Excluir coincidencias | < 1% |
| Excluir bibliografía | Apagado | | |

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados Bryan Andrés Godoy Romoleroux y Leonel Alexis Olmedo Carrillo, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, ELABORAR UN MORTERO A BASE DE CAUCHO Y CASCARILLAS DE ARROZ RECICLADOS COMO AISLANTE ACUSTICO PARA INFRAESTRUCTURAS URBANAS, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autores

Firma:


Bryan Andrés Godoy Romoleroux

C.I. 0706468634

Firma:


Leonel Alexis Olmedo Carrillo

C.I. 0930591490

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Elaborar un mortero a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados como aislante acústico para infraestructuras urbanas, designada por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Elaborar un mortero a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados como aislante acústico para infraestructuras urbanas, presentado por los estudiantes Bryan Andrés Godoy Romoleroux y Leonel Alexis Olmedo Carrillo como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

Eliana Noemí Contreras Jordán

C.C. 1202820815

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme brindado salud, fortaleza y sabiduría para poder alcanzar esta meta profesional, por estar en los momentos buenos y malos. Agradecerle porque siempre intervino en las oraciones de mi madre y no dejarme desfallecer en el camino.

A mis padres que supieron brindarme su apoyo para cumplir esta meta y con sus principios éticos y morales llegar a ser un gran profesional, por estar en los momentos difíciles, por darme sus consejos y siempre haciéndome ver que hay un gran futuro para mí.

A mi enamorada por acompañarme en este proceso, brindarme su apoyo incondicional en cada paso que he dado en este proceso tanto en lo personal como en lo académico.

A mi abuela Flor Araujo por estar y acompañarme en este largo y duro proceso hasta lograr convertirme en un profesional.

A la Mgtr. Eliana Contreras Jordán, tutor del proyecto, quien nos brindó su apoyo y confianza para realizar este proyecto, realizándolo con el mayor profesionalismo y la dedicación que se debe llevar en una investigación.

A cada uno de los docentes los cuales con sus conocimientos son importantes en la formación académica.

Bryan Andrés Godoy Romoleroux

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme vivir esta etapa con buena salud, también agradezco a mi madre por todas esas llamadas de atención impulsándome a seguir adelante con la carrera ya que por momentos quería rendirme. También quiero agradecer a mis compañeros que me dieron la mano cuando se me dificultó la carrera académicamente y económicamente, Gracias a todos esos puntos puedo estar feliz de poder culminar mi carrera de Ingeniería civil.

Leonel Alexis Olmedo Carrillo

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres, enamorada, abuela y a todos los que formaron parte de este proceso, el cual no fue sencillo, pero gracias al apoyo incondicional de ellos se pudo lograrlo, quienes estuvieron en mi desarrollo académico brindándome su apoyo y conocimiento para poder dar este paso importante, el título de Ingeniero Civil.

Bryan Andrés Godoy Romoleroux

DEDICATORIA

Dedico este título a mis padres por creer en mí, a mis amigos que son como mis propios hermanos en las malas y en las buenas.

Y garantizar que seré el mejor en mi campo de trabajo.

Leonel Alexis Olmedo Carrillo

RESUMEN

Este estudio se enfoca en la elaboración de un mortero innovador utilizando materiales reciclados, específicamente caucho y cascarillas de arroz, con el objetivo de mejorar el aislamiento acústico en infraestructuras urbanas. La creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de soluciones eficientes en la construcción motivaron la investigación. Se seleccionaron y prepararon los materiales reciclados, optimizando sus proporciones en la mezcla del mortero. Las pruebas de laboratorio incluyeron la evaluación de la resistencia a la compresión, la absorción de agua y las propiedades acústicas. Los resultados revelaron que el mortero alcanzó una resistencia a la compresión de aproximadamente 20 MPa, lo que lo hace adecuado para aplicaciones no estructurales. En términos de aislamiento acústico, el mortero demostró ser altamente efectivo, reduciendo la transmisión de sonido en un 30% en comparación con morteros convencionales. Además, la mezcla resultante mostró una densidad más baja, lo que favorece su uso en construcciones donde el peso es un factor crítico, como en la rehabilitación de edificios y la construcción en altura. La inclusión de caucho reciclado y cascarillas de arroz no solo mejoró las propiedades técnicas del mortero, sino que también tuvo un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, al reducir la cantidad de residuos que terminan en vertederos y disminuir las emisiones de CO₂. En conclusión, este mortero reciclado ofrece una solución efectiva y ecológica para mejorar la calidad acústica de las infraestructuras urbanas, alineándose con las tendencias actuales de construcción sostenible.

Palabras Claves: Materiales de construcción, contaminación sonora, Ingeniería de la Construcción, medio ambiente, acústica.

ABSTRACT

This study focuses on the development of an innovative mortar using recycled materials, specifically rubber and rice husks, with the aim of improving acoustic insulation in urban infrastructures. The growing concern for sustainability and the need for efficient construction solutions motivated the research. Recycled materials were selected and prepared, optimizing their proportions in the mortar mix. Laboratory tests included the evaluation of compressive strength, water absorption, and acoustic properties. The results revealed that the mortar achieved a compressive strength of approximately 20 MPa, making it suitable for non-structural applications. In terms of acoustic insulation, the mortar proved to be highly effective, reducing sound transmission by 30% compared to conventional mortars. Additionally, the resulting mixture exhibited a lower density, favouring its use in constructions where weight is a critical factor, such as in building rehabilitation and high-rise construction. The inclusion of recycled rubber and rice husks not only improved the technical properties of the mortar but also had a positive impact on environmental sustainability by reducing the amount of waste ending up in landfills and lowering CO₂ emissions. In conclusion, this recycled mortar offers an effective and eco-friendly solution to enhance the acoustic quality of urban infrastructures, aligning with current trends in sustainable construction.

Keywords: Construction Materials , Noise Pollution , Construction Engineering , Environment , Acoustics

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA | ii |
| CERTIFICADO DE SIMILITUD | iv |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES | v |
| CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| AGRADECIMIENTO | viii |
| DEDICATORIA | ix |
| DEDICATORIA | x |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT | xii |
| ÍNDICE GENERAL | xiii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xvi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xvii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | 4 |
| ENFOQUE DE LA PROPUESTA | 4 |
| 1.1. Tema: | 4 |
| 1.2. Planteamiento del Problema: | 4 |
| 1.3. Formulación del Problema: | 6 |
| 1.4. Objetivo General | 6 |
| 1.5. Objetivos Específicos | 6 |
| 1.6. Hipótesis | 6 |
| 1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad. | 7 |
| CAPÍTULO II | 8 |

| | |
|---|----|
| MARCO REFERENCIAL..... | 8 |
| 2.1. Antecedentes..... | 8 |
| 2.2. Fundamento teórico..... | 10 |
| 2.2.1. Mortero..... | 10 |
| 2.2.1.1 Componentes de un mortero tradicional..... | 11 |
| 2.2.1.2 Agregados..... | 12 |
| 2.2.1.3 Ensayos para un mortero..... | 14 |
| 2.2.1.4 Propiedades de mortero fresco..... | 16 |
| 2.2.1.5 Propiedades de mortero seco..... | 19 |
| 2.2.2. La cascarilla de arroz..... | 22 |
| 2.2.3. El caucho..... | 24 |
| 2.2.3.1. Propiedades del caucho..... | 27 |
| 2.2.3.2. Principales fuentes de contaminación del caucho..... | 29 |
| 2.2.4. Propiedades Acústicas de los Materiales de Construcción..... | 30 |
| 2.2.4.1. Principios Teóricos del Aislamiento Acústico..... | 30 |
| 2.2.5. Impacto Ambiental y Sostenibilidad..... | 33 |
| 2.2.6. Normativas y Estándares de Ruido en Entornos Urbanos..... | 35 |
| 2.2.7. Impacto del Aislamiento Acústico en la Calidad de Vida..... | 37 |
| 2.2.8. . Evaluación Económica..... | 38 |
| 2.3. MARCO LEGAL..... | 41 |
| 2.3.1. Constitución de la República del Ecuador..... | 41 |
| 2.3.2. Código Orgánico Ambiental (Coa)..... | 42 |
| 2.3.3. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente..... | 44 |
| 2.3.4. NORMAS TECNICAS ECUATORIANAS..... | 46 |
| CAPÍTULO III..... | 49 |
| MARCO METODOLÓGICO..... | 49 |
| 3.1. Enfoque de la investigación..... | 49 |

| | |
|---|----|
| 3.2. Alcance de la investigación..... | 50 |
| 3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos..... | 51 |
| 3.4. Población y muestra | 56 |
| CAPÍTULO IV..... | 58 |
| PROPUESTA O INFORME | 58 |
| 4.1. Presentación y análisis de resultados | 58 |
| 4.2. Pruebas de resistencia | 66 |
| 4.3. Estadísticas | 76 |
| CONCLUSIONES | 83 |
| RECOMENDACIONES | 85 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 87 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Líneas de Investigación | 15 |
| Tabla 2 Especificaciones para morteros realizados en laboratorio | 15 |
| Tabla 3 Propiedades del mortero fresco..... | 17 |
| Tabla 4 Propiedades de mortero seco | 19 |
| Tabla 5 Exposición de la cascarilla de arroz diferente contenido de humedad | 22 |
| Tabla 6 Grandes productores en el mundo | 25 |
| Tabla 7 Diferentes aplicaciones del caucho | 27 |
| Tabla 8 Elementos que conforman una llanta | 29 |
| Tabla 9 Composición de las Diferentes Formulaciones de Mortero..... | 58 |
| Tabla 10 Procedimiento General del Ensayo | 58 |
| Tabla 11 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión (Mpa)..... | 63 |
| Tabla 12 Análisis de Costos de Producción | 64 |
| Tabla 13 Análisis de Viabilidad Técnica | 65 |
| Tabla 14 Resistencia a la Compresión - Día 3 | 66 |
| Tabla 15 Resistencia a la Compresión - Día 21 | 67 |
| Tabla 16 Resistencia a la Compresión - Día 28 | 68 |
| Tabla 17 estadística de la prueba acústica | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Presentación del nuevo portafolio de Holcim..... | 12 |
| Figura 2 Estructura de un caucho natural..... | 24 |
| Figura 3 selección de agregados, caucho y cascara de arroz | 59 |
| Figura 4 Preparacion de la mezcla | 60 |
| Figura 5 Adicion de agregados a mezcla | 60 |
| Figura 6 Llenado de moldes | 61 |
| Figura 7 pesado de las muestras | 61 |
| Figura 8 Calibrado de los equipos..... | 62 |
| Figura 9 preparación de la muestra para prueba de resistencia | 62 |
| Figura 10 prueba de resistencia | 63 |
| Figura 11 Resistencia a la Compresión - Día 3 | 67 |
| Figura 12 Resistencia a la Compresión - Día 21 | 68 |
| Figura 13 Resistencia a la Compresión - Día 28 | 69 |
| Figura 14 Preparando sonometro para ensayo | 70 |
| Figura 15 Colocando S1 cerca de parlante para comprobar las decibeles | 71 |
| Figura 16 Ensayo sin recubrimiento colocando el sonómetro S2 dentro de caj..... | 71 |
| Figura 17 Colocando paneles para 2do ensayo utilizando el mortero | 72 |
| Figura 18 Se coloca el sonometro S2 dentro de caja y preparándolo para ensayo con la variante del mortero con nueva dosificación | 73 |
| Figura 19 Descarga de información obtenida | 74 |
| Figura 20 Cerrando caja con sonometro S2 dentro para iniciar ensayo | 75 |
| Figura 21 Ruido externo de la fuente acústica | 77 |
| Figura 22 Datos de prueba con aislantes | 78 |
| Figura 23 Comparación de ruido por fuentes | 79 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|-------------------------------------|----|
| Anexo 1 Prueba de resistencia | 91 |
|-------------------------------------|----|

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la industria de la construcción ha sido testigo de una transformación significativa, impulsada por la creciente demanda de soluciones que sean tanto sostenibles como eficientes. La necesidad de reducir el impacto ambiental, combinada con el imperativo de mejorar la eficiencia energética y el confort en las infraestructuras, ha llevado a la exploración de materiales reciclados como componentes clave en nuevos productos de construcción. Dentro de este contexto, se desarrolló un mortero innovador a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados, diseñado específicamente para actuar como aislante acústico en infraestructuras urbanas. Este enfoque se alineó con las tendencias globales hacia la construcción ecológica y la economía circular, ofreciendo una solución efectiva para mitigar la contaminación acústica al tiempo que se abordaba la problemática de los residuos.

El caucho reciclado, utilizado principalmente en forma de gránulos provenientes de neumáticos desechados, se destaca por su capacidad de amortiguación, lo que lo convierte en un material ideal para aplicaciones donde la reducción del ruido es esencial. Según estimaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, se desechan aproximadamente 290 millones de neumáticos cada año solo en ese país, lo que representa un desafío significativo en la gestión de residuos. De esta cifra, solo un 10% se recicla de manera efectiva, mientras que el resto se destina a vertederos o incineración, generando emisiones contaminantes.

Por otro lado, las cascarillas de arroz, que constituyen alrededor del 20% del peso total del grano, son un subproducto agrícola generado en grandes cantidades, especialmente en países como India, China y Brasil. A nivel mundial, se producen aproximadamente 150 millones de toneladas de cascarillas de arroz anualmente, de las cuales una gran parte no se aprovecha adecuadamente, contribuyendo a la acumulación de residuos agrícolas. Debido a su estructura ligera y fibrosa, las cascarillas de arroz fueron seleccionadas para mejorar las propiedades mecánicas del mortero y potenciar su capacidad de aislamiento acústico y térmico.

El desarrollo de este mortero se realizó a través de una investigación exhaustiva que incluyó la selección, preparación y optimización de estos materiales reciclados. Inicialmente, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para determinar las proporciones óptimas de caucho y cascarillas de arroz en la mezcla, asegurando una cohesión adecuada y un comportamiento homogéneo durante su aplicación. Las propiedades físicas del mortero, como la resistencia a la compresión y la absorción de agua, se evaluaron en comparación con morteros convencionales. Los resultados mostraron que el mortero reciclado alcanzó una resistencia a la compresión de aproximadamente 20 MPa, adecuada para su uso en diversas aplicaciones de construcción no estructurales.

En cuanto a las propiedades acústicas, se realizaron ensayos para medir la transmisión de sonido a través de paneles de mortero elaborados con diferentes proporciones de caucho y cascarillas de arroz. Estos ensayos revelaron que el mortero reciclado logró reducir la transmisión de sonido en un 30% en comparación con un mortero convencional, posicionándose como una opción efectiva para el aislamiento acústico en áreas urbanas densamente pobladas. Además, la menor densidad del mortero, que se situó en torno a los 1.500 kg/m³, favorece su uso en aplicaciones donde el peso es un factor crítico, como en la rehabilitación de edificios y la construcción en altura.

La utilización de materiales reciclados no solo mejoró las propiedades técnicas del mortero, sino que también tuvo un impacto positivo en la sostenibilidad del proyecto. Se estima que la inclusión de caucho reciclado en la mezcla permitió una reducción de hasta un 20% en las emisiones de CO₂ en comparación con morteros tradicionales que emplean agregados naturales. Asimismo, la reutilización de cascarillas de arroz ayudó a disminuir la cantidad de residuos agrícolas que terminan en vertederos o son incinerados, reduciendo así la liberación de contaminantes al medio ambiente.

La implementación de este mortero en proyectos de construcción tiene el potencial de transformar la manera en que se aborda tanto el aislamiento acústico como la gestión de residuos en la industria. Al reutilizar caucho y cascarillas de arroz, materiales que de otro modo podrían acabar en vertederos o incineradores, se promueve un ciclo de vida más sostenible para estos subproductos, al tiempo que se mejora la calidad acústica y

térmica de los espacios urbanos. Esto no solo contribuye a la creación de entornos más confortables y saludables, sino que también responde a una creciente demanda de soluciones constructivas que sean tanto ecológicas como eficientes.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1. Tema:

Elaborar un mortero a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados como aislante acústico para infraestructuras urbanas.

1.2. Planteamiento del Problema:

El ruido proveniente de fuentes urbanas, como el tráfico vehicular, la construcción y otras actividades humanas, contribuye a problemas de salud y bienestar, destacando la urgente necesidad de estrategias efectivas de aislamiento acústico en el diseño de infraestructuras urbanas.

Por la contaminación auditiva se ven afectadas de mayor manera las escuelas, colegios, universidades y entidades en general que están localizadas en la cercanía de autopistas, aeropuertos, terminales terrestres y lugares de concurrencia masiva, afectando el desempeño, concentración, dificultad de aprendizaje y mucha sensación de nerviosismo incrementando la hiperactividad en niños y estrés en personas adultas en sus ocupaciones y estudios.

Las llantas tienen una mayor demanda de fabricación, convirtiéndolas en un problema mundial que perjudica el medio ambiente. Otro problema que genera el desecho de este material es cuando se lo incinera, generando una gran cantidad de contaminación por las toxinas que son soltadas a la atmósfera.

Actualmente A nivel global, se fabrican aproximadamente 2.000 millones de neumáticos anualmente, lo que genera un volumen significativo de residuos cuando estos alcanzan el final de su vida útil. En Estados Unidos: Cada año, en Estados Unidos, se descartan aproximadamente 300 millones de neumáticos usados. De estos, solo alrededor del 45% se recicla o reutiliza, mientras que el resto termina en vertederos o incinerados. (Contec, 2024)

Reciclaje de Neumáticos en la Unión Europea: En 2019, la Unión Europea recicló el 88% de sus neumáticos fuera de uso (NFU), lo que equivale a unos 3,5 millones de toneladas de caucho reciclado para nuevos usos o recuperación de energía. (Contec, 2024)

Actualmente existen proyectos para la recolección de las llantas, pero mediante un acuerdo ministerial del 2015 solo se reciclan el 30 por ciento del material importado, eso evidencia que en el Ecuador que existe un gran desperdicio del material de caucho proveniente de llantas que fueron utilizados en autos y aviones.

La contaminación del caucho se produce a diario, existen poco interés en la reutilización del caucho por los usuarios y estos optan por deshacerse de este material quemándolo o botándolo en lugares lejanos, terrenos baldíos y bordes de carreteras. (ACUERDO MINISTERIAL 98, 2015)

Por otro lado, se encuentra la problemática con la cascarilla de arroz, ya que este material se lo sabe arrumar en grandes cantidades formando un tipo de relleno que no es estable para la construcción en las zonas rurales. También produce contaminación al momento que se quema, ya que la cantidad de humo que emana es incontrolable y afecta a las zonas pobladas que se encuentran alrededor.

Sin embargo, a pesar de que el caucho tenga elasticidad, repelente al agua, resistencias a bajas temperaturas entre otras, la cascarilla de arroz también tiene propiedades como ser aislante térmico, resistente al fuego y durabilidad. La falta de estudios que evalúen su desempeño, como aislante acústico, limita la comprensión de su viabilidad y efectividad.

Es en este contexto que surge la necesidad de llevar a cabo una investigación que permita analizar y cuantificar las propiedades acústicas de este mortero y compararlo con materiales tradicionales utilizados para el mismo fin.

Por lo tanto, este proyecto tratara de evaluar cuan efectivo es un mortero a base de caucho y cascarilla de arroz reciclado como aislante acústico para infraestructuras urbanas, ya que la contaminación auditiva para los humanos y la contaminación de los desperdicios y malas técnicas para la eliminación de estos desechos afectando al medio ambiente y a la salud de los seres vivos. Por lo cual se plantea una manera de disminuir este tipo de contaminación enfocado en infraestructuras urbanas.

1.3. Formulación del Problema:

¿Cómo afecta la utilización de un mortero a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados como material aislante acústico en infraestructuras urbanas a la reducción de niveles de ruido, en comparación con materiales tradicionales?

1.4. Objetivo General

Elaborar un mortero elaborado a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados como material aislante en paredes para la contaminación acústica de zonas urbanas.

1.5. Objetivos Específicos

- Desarrollar una formulación óptima del mortero utilizando diferentes proporciones de caucho reciclado y cascarillas de arroz, evaluando sus propiedades mecánicas y acústicas
- Evaluar la viabilidad económica-técnica de la producción y aplicación del mortero reciclado en infraestructuras urbanas.
- Realizar un estudio comparativo con materiales tradicionales utilizados para el aislamiento acústico en infraestructuras urbanas, evaluando sus propiedades acústicas y durabilidad.

1.6. Hipótesis

Se espera que el mortero a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados demuestre un rendimiento igual o superior en términos de aislamiento acústico en comparación con los materiales tradicionales utilizados en infraestructuras urbanas.

1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Tabla 1

Líneas de Investigación

| Dominio | Línea institucional | Líneas de Facultad |
|---|--|----------------------------|
| Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables. | Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción | Materiales de construcción |

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (ULVR, 2023)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

La presente investigación de elaborar un mortero a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados como aislante acústico para infraestructuras urbanas mediante estudios, ensayos de resistencia del mortero a compresión, homogeneidad, compactación de materiales; busca dar una adecuada solución, presentando un análisis detallado sobre la reducción de la contaminación auditiva, como también la optimización de recursos no renovables y así evitar la contaminación ambiental.

Martillo et al. (2020), mortero tradicional con caucho reciclado para recubrimiento de mampostería. Guayaquil, ULVR, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Carrera de Arquitectura. El desarrollo del presente proyecto es un aporte y propuesta para ayudar a dar solución a problemas muy graves como la contaminación ambiental producida por la acumulación indiscriminada de los neumáticos fuera de uso, brindando una alternativa que puede colaborar de forma directa a la disminución de este fenómeno mediante el reciclado de los neumáticos para elaborar un mortero tradicional con caucho y de esta manera mejorar el cuidado de la salud de la población de la ciudad de Guayaquil. También es posible mediante el material experimental dar protección contra la contaminación acústica cada vez más creciente y que tiene relación directa con el aumento del parque automotriz en la ciudad; pues por la naturaleza física y el comportamiento del sonido puede ser adsorbido por el mortero tradicional con caucho debido a que es un material poroso y granulado y la absorción es una de sus características como se constató en las pruebas de laboratorio realizadas en cuanto a este tema.

Bajaña (2022), características técnicas de mezcla de mortero utilizando ceniza volcánica y mortero utilizando hormigón reciclado, Guayaquil, ULVR, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Carrera de Ingeniería Civil.

El mortero es una mezcla de cemento, arena y agua utilizada normalmente para recubrimientos de paredes, pisos, mampostería su característica técnica están dadas por medio de una dosificación, resistencia y adherencia. La resistencia y adherencia son características técnicas muy importantes del mortero, para nuestro proyecto de titulación pretende mejorar estas características por medio del uso de la ceniza volcánica y el hormigón reciclado. La ceniza volcánica es un material de origen natural producto de la erupción volcánica, la cual se la encuentra en las laderas de los volcanes o en sus inmediaciones, en la sierra ecuatoriana ya se encuentran depósitos de estos materiales para su venta. El hormigón reciclado es un material producto de las demoliciones de viejas edificaciones de hormigón armado, para nuestro proyecto de titulación se considera la reutilización de este material para la elaboración de morteros en el área de la construcción.

Crespo et al. (2022), elaborar un mortero con aserrín para la disminución de fisuras en enlucidos de cerramiento, Guayaquil, ULVR, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Carrera de Ingeniería Civil. Este proyecto es un trabajo experimental que consiste en combinar mortero con aserrín con varias dosificaciones, incluyendo el mortero tradicional que es agua, cemento y arena, y así demostrar que estas aleaciones son una solución para enlucir paredes de cerramientos y que al final no presentan ningún tipo de fisuras en comparación con los morteros tradicionales.

Demuestra que, usando materiales reciclados orgánicos como el aserrín para la elaboración de morteros, ya siendo este un agregado orgánico tiene una propuesta a analizar cómo se comporta este tipo de material y si logra su objetivo principal.

Llaguno y Charles (2023), análisis del desempeño de un adoquín peatonal utilizando fibra del tallo de la caña de azúcar y cascarilla del arroz, Guayaquil, ULVR, Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Carrera de Ingeniería Civil. se enfoca en nuevas formas de elaboración de adoquines peatonales utilizando materiales reciclados del medio. Los desechos orgánicos producidos por las industrias que se encuentran situadas alrededor de la provincia del Guayas nos ayudan a obtener una alta demanda de agregados que pueden ser considerados en la industria de la construcción.

El planteamiento de investigación propone analizar la viabilidad de un prototipo experimental de adoquín con la adicción de agregados naturales como lo es la cascarilla del arroz y la fibra de tallo de caña de azúcar. Además, se efectuarán los respectivos ensayos de laboratorios.

Estudio experimental del pavimento flexible con fonoabsorción incorporando caucho reciclado en la Vía Urdaneta-Puebloviejo, Ecuador, Este estudio lleva a cabo la implementación del polvo de caucho reciclado para poder mejorar características del pavimento, a su vez ayudan al medio ambiente con el mal manejo de los neumáticos ya que cuando terminal su vida útil son desechados en cualquier sitio. El uso del polvo demuestra una vida útil de mayor eficacia y se minimiza el impacto económico ya que se invierte menos en el mantenimiento. (Mora & Onofre, 2024)

Estudio del pavimento flexible con polvo de caucho frente al efecto de fatiga. Al final de ensayos y los otros procedimientos llegan a la conclusión de que la mezcla asfáltica es beneficioso en un 55.15% en comparación de la mezcla tradicional la cual traería una mejora y a su vez es aplicable a las carreteras del país es beneficio del usuario de las mismas (Jesus & Palacios, 2019)

2.2. Fundamento teórico

2.2.1. Mortero

El mortero es un material de construcción compuesto por una mezcla homogénea de un aglutinante, como cemento, cal o una combinación de ambos, junto con agregados finos, como arena, y agua. Esta mezcla se utiliza ampliamente en la construcción para unir elementos estructurales, como ladrillos, bloques y piedras, y para crear revestimientos superficiales que mejoran tanto la apariencia estética como las propiedades protectoras de las edificaciones.

El aglutinante en el mortero actúa como el componente principal que, al mezclarse con agua, desencadena un proceso de fraguado y endurecimiento, proporcionando la cohesión necesaria para mantener unidos los agregados y adherirse a las superficies de

construcción. La arena, como agregado fino, ofrece volumen y estabilidad a la mezcla, mejorando su resistencia y durabilidad.

Las principales propiedades del mortero incluyen su capacidad de adherencia, que asegura que los materiales de construcción queden firmemente unidos; su resistencia a la compresión, que permite al mortero soportar cargas y presiones sin desintegrarse; y su trabajabilidad, que se refiere a la facilidad con la que la mezcla puede ser manipulada y aplicada durante el proceso de construcción. (Robalino, 2018, p. 22)

Además, el mortero es esencial para proteger las estructuras contra factores ambientales, como la humedad, la temperatura y el desgaste mecánico, contribuyendo significativamente a la longevidad y funcionalidad de las edificaciones.

Existen diferentes tipos de morteros, cada uno diseñado para cumplir con requerimientos específicos de la construcción, ya sea en términos de resistencia, flexibilidad, durabilidad o aislamiento, lo que hace del mortero un componente versátil y fundamental en la ingeniería civil.

2.2.1.1 Componentes de un mortero tradicional

Básicamente los componentes principales de un mortero se basan en cemento, agregado finos y agua

El componente más costoso del mortero es el cemento “La pasta de cemento (cemento y agua) es el elemento que llena los vacíos entre los agregados, provee la trabajabilidad del concreto en estado fresco y proporciona la adherencia o pega entre los agregados una vez el concreto se endurece, el porcentaje de vacíos de una mezcla de agregados está principalmente relacionado con su gradación, forma y textura”. (Rovalino, 2018, p. 24)

Para realizar un mortero su principal ingrediente es el cemento como se observa en la figura 1, el cual es un producto de la quema de arcillas y calizas, siendo estos extraído de lugares como canteras y luego pasan por un proceso de trituración. En el

mercado todo tipo de cemento debe cumplir con las normas NTE INEN 2380 y ASTM C1157

- GU. - Construcciones en generales (NTE INEN 2380)
- HE.- Alta resistencia (NTE INEN 2380)
- HS.- expuesto a sulfatos
- MH. - para uso de suelos

Figura 1

Presentación del nuevo portafolio de Holcim



El Cemento del Ecuador

Fuente: Holcim (2012)

2.2.1.2 Agregados

Son los componentes que acompañan al cemento para poder obtener una mezcla más homogénea los cuales son recubiertos en su totalidad con el cemento ya que este es el que los unifica de manera adecuada.

2.2.1.2.1 Agregados finos

Los agregados finos son materiales granulares que constituyen una parte esencial en la fabricación de morteros y concretos, ya que contribuyen a la densidad, estabilidad

y trabajabilidad de la mezcla. Generalmente, los agregados finos están compuestos por partículas cuyo tamaño pasa por un tamiz de 4.75 mm (N.º 4), y suelen ser arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas. (Quispe Palomino, 2023)

En el caso específico del mortero, los agregados finos cumplen funciones críticas como:

- **Proporcionar Volumen:** Ocupan el espacio entre las partículas de cemento, lo que reduce la cantidad de cemento necesario y, por lo tanto, los costos.
- **Aumentar la Estabilidad:** Contribuyen a la cohesión interna de la mezcla, mejorando su resistencia mecánica.
- **Mejorar la Trabajabilidad:** Facilitan la manipulación y aplicación de la mezcla fresca, lo que es vital para asegurar una distribución uniforme y un buen acabado.

2.2.1.2.2 Agregados gruesos

Los agregados gruesos son partículas de mayor tamaño que los agregados finos y juegan un rol fundamental en la conformación de concretos y algunas mezclas de mortero para estructuras con mayores requerimientos de resistencia. Los agregados gruesos están formados por partículas retenidas en el tamiz de 4.75 mm (N.º 4), y suelen consistir en piedra triturada, grava o fragmentos de roca natural. (Olivo Huerta, 2023)

En la mezcla de concreto, los agregados gruesos proporcionan:

- **Resistencia Estructural:** Aportan la masa y la capacidad de soporte de carga necesaria para resistir las tensiones a las que se someterá la estructura.
- **Reducción de la Contracción:** Disminuyen la contracción que ocurre durante el proceso de fraguado y endurecimiento, reduciendo el riesgo de formación de grietas.
- **Eficiencia en el Costo:** Al ocupar un mayor volumen en la mezcla, los agregados gruesos reducen la cantidad de cemento necesario, lo que contribuye a la eficiencia económica del proyecto.

2.2.1.2.3 Agua

Como sabemos el cemento para ser hidráulico uno de sus componentes debe ser agua ya que el mismo servirá para el fraguado y posterior a esto se tornará en una forma compacta y dura, que al tener contacto tienen una reacción química provocando que en el interior del cemento se activen sus propiedades aglutinantes.

Al mezclarse el agua con el cemento se produce la pasta, la cual puede ser más o menos diluida según la cantidad de agua que se agregue. “Al endurecer la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua queda fija en la estructura rígida de la pasta y el resto queda como agua evaporada”. (Sanchez, 2001)

2.2.1.3 Ensayos para un mortero

El mortero es uno de los elementos que complementan la mampostería el cual debe cumplir la tarea de recubrir las partes irregulares que tiene el bloque dejando una superficie regular para su posterior uso. La norma INEN 2518 indica que para las diferentes dosificaciones se debe usar un método de dosificación controlada y ser muy exacta al momento de realizar el mortero. (Condori Yapu, 2022)

Se ha evidenciado una alta variabilidad de la resistencia máxima a compresión de morteros cuya dosificación y producción se la realiza por volumen como lo recomiendan las normas ASTM. Esta variación es disminuida considerablemente cuando la dosificación de los componentes y producción del mortero se la hace por peso (Arango, 2011)

Tabla 2*Especificaciones para morteros realizados en laboratorio*

| Tipo de Mortero | Resistencia mínima a compresión a 28 días, kg/cm ² (MPa) | Retención mínima de agua (%) | Contenido máximo de aire (%) | Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta) |
|-----------------|---|------------------------------|------------------------------|---|
| M | 175 (17.0) | 75 | 12 | No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes |
| S | 125 (12.5) | 75 | 12 | |
| N | 50 (5.0) | 75 | 14* | |
| O | 25 (2.5) | 75 | 14* | |

Nota: En la tabla podemos ver las especificaciones a seguir para un mortero realizado en laboratorio

Fuente: Brusil & Peñafiel (2020)

La tabla 2 se presentan las especificaciones técnicas para diferentes tipos de morteros, utilizados comúnmente en aplicaciones de construcción. Los morteros están clasificados en cuatro tipos: M, S, N y O, cada uno con propiedades específicas que determinan su idoneidad para distintas aplicaciones.

El primer parámetro analizado es la resistencia mínima a compresión a 28 días, que se presenta tanto en kg/cm² como en MPa. Este parámetro es crucial para determinar la capacidad del mortero para soportar cargas. El mortero tipo M, con una resistencia mínima de 175 kg/cm² (17.0 MPa), es el más resistente de todos y se utiliza en aplicaciones que requieren una alta capacidad de carga, como muros estructurales y otras estructuras que soportan grandes pesos.

El mortero tipo S, con una resistencia de 125 kg/cm² (12.5 MPa), es ligeramente menos resistente, pero sigue siendo adecuado para aplicaciones estructurales moderadas, como muros de carga medianos. El mortero tipo N, con 50 kg/cm² (5.0 MPa), es utilizado en aplicaciones no estructurales o en muros de relleno que no soportan grandes cargas. Finalmente, el mortero tipo O, con la resistencia más baja de 25 kg/cm² (2.5 MPa), se usa en reparaciones menores y aplicaciones donde no se requiere gran resistencia.

El segundo parámetro es la retención mínima de agua, la cual es constante en todos los tipos de morteros, con un valor del 75%. Este valor asegura que el mortero retiene suficiente agua para permitir una correcta hidratación del cemento, lo cual es fundamental para la resistencia y durabilidad del mortero. Una retención de agua adecuada también previene la aparición de fisuras y otros defectos durante el proceso de secado y endurecimiento.

El tercer parámetro, el contenido máximo de aire, varía ligeramente entre los tipos de mortero. El mortero tipo M y S tienen un contenido máximo de aire del 12%, lo que permite cierta porosidad sin comprometer la resistencia del mortero.

Esta porosidad ayuda a mejorar la trabajabilidad y reduce la posibilidad de fisuras. Por otro lado, los morteros tipo N y O permiten un contenido máximo de aire del 14%, lo que los hace más ligeros y fáciles de trabajar, aunque con menor resistencia estructural.

Finalmente, la relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta) está indicada como un valor que no debe ser menor que 2.25 ni mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes.

Esta relación asegura que haya una cantidad adecuada de agregados en el mortero para lograr la consistencia y resistencia deseada, manteniendo un equilibrio entre la trabajabilidad y la resistencia final del mortero.

2.2.1.4 Propiedades de mortero fresco

Sus propiedades de acuerdo a la norma NTE INEN 2518:2010 consiste en 2 partes una cuando se encuentra fresco y la otra cuando ya se encuentra seco

Tabla 3*Propiedades del mortero fresco*

| Estado | Propiedades | Detalle |
|---------------|--------------------|---|
| Fresco | Fluidez | La manejabilidad está relacionada con la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda o seca, tal que como se encuentra en estado fresco; depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena. Es la propiedad del mortero que se mide en laboratorio e indica el aumento porcentual del diámetro de un mortero confeccionado en un molde troncocónico y sometido al movimiento de una mesa vibratoria durante 15 segundos. |
| | Aire | El contenido de aire la NTE INEN 2518:2010 si bien es mencionada como uno de los factores que inciden directamente sobre la trabajabilidad del mortero, no especifica con claridad el procedimiento para su medición. Por lo tanto, se tomará como referencia al ensayo de la norma AASHTO T199-82. |
| | Agua | La retención permite la trabajabilidad. El agua no se debe perder por evaporación o absorción de los mampuestos ya que desaparecería el estado fresco. Este ensayo está normado por la ASTM-91 y mide la capacidad del mortero para retener el agua de la mezcla, ya que una baja retención de agua afecta directamente a |

la capacidad de adherencia de los mampuestos o unidades de mampostería.

Endurecimiento El endurecimiento del mortero en estado fresco está relacionado con las características de fraguado. El tiempo de fraguado se encuentra estimado entre 2 y 24 horas de fraguado final e inicial respectivamente.

Nota. La tabla indica las propiedades del mortero en el estado fresco

Fuente. NTE INEN 2518:2010

La tabla 3 presentada analiza las propiedades del mortero en dos estados cruciales: fresco y en endurecimiento. En el estado fresco, se destacan tres propiedades fundamentales: la fluidez, el contenido de aire y la retención de agua. La fluidez se refiere a la manejabilidad de la mezcla en su estado fresco, influenciada por la proporción de arena y cemento, así como por las características físicas de la arena, como su forma, textura y módulo de finura. Este parámetro se mide en laboratorio utilizando un molde troncocónico y una mesa vibratoria, lo que permite evaluar el aumento porcentual del diámetro del mortero, proporcionando así una indicación precisa de su trabajabilidad.

El contenido de aire es otro factor importante que incide directamente en la trabajabilidad del mortero. Aunque la NTE INEN 2518:2010 menciona su importancia, no especifica claramente el procedimiento para su medición. Por ello, se recurre a la norma AASHTO T199-82 como referencia para este ensayo. Un contenido adecuado de aire puede mejorar la manejabilidad del mortero, pero debe controlarse para no comprometer su resistencia.

La retención de agua es crucial para mantener la trabajabilidad del mortero y asegurar una buena adherencia entre las unidades de mampostería. Si el agua se pierde por evaporación o es absorbida por los mampuestos, el mortero dejará de estar en estado

fresco, afectando su capacidad de ser trabajado y su efectividad en la adherencia. Este aspecto está normado por la ASTM-91, que regula cómo debe medirse la capacidad del mortero para retener el agua en la mezcla. (Cornejo Carnero, 2023)

En el estado de endurecimiento, el mortero pasa por un proceso de fraguado, donde sus características cambian de un estado fresco a uno endurecido. Este proceso es crucial porque determina cuándo el mortero adquiere la resistencia necesaria para soportar cargas y continuar con el proceso de construcción. El tiempo de fraguado inicial está estimado en 2 horas, mientras que el fraguado final puede extenderse hasta 24 horas, lo que garantiza que el mortero haya alcanzado las propiedades físicas necesarias para su función estructural.

En conjunto, estas propiedades y sus mediciones normadas aseguran que el mortero, tanto en estado fresco como endurecido, cumpla con los requisitos técnicos y estructurales necesarios para su aplicación en la construcción, garantizando así la calidad y durabilidad de las edificaciones donde será utilizado.

2.2.1.5 Propiedades de mortero seco

Tabla 4

Propiedades de mortero seco

| Estado | Propiedades | Detalle |
|-------------|-----------------------------|---|
| Seco | Resistencia a la compresión | La resistencia a la compresión del mortero depende significativamente del contenido de cemento y de la relación de agua – cemento. El procedimiento de laboratorio aceptado para medir la resistencia de compresión es de los cubos de mortero de 50 mm de lado |
| | Resistencia a la flexión | La norma ASTM C293/293 M-10, es la que sirve para realizar el ensayo |

| | |
|---------------------|---|
| Adherencia | Es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura. La norma ASTM C952-12, sirve para realizar los ensayos. |
| Absorción capilar | La NTG 41017 h23 y la UNE-EN1015-18, son los que permite identificar el coeficiente de absorción capilar, la porosidad total y la densidad. |
| Módulo de formación | La NTG 41017 h23 y la UNE-EN1015-18, son los que permite identificar el coeficiente de absorción capilar, la porosidad total y la densidad. |
| Extensibilidad | Capacidad de una mampostería de resistir la penetración del agua |

Nota. La tabla indica propiedades del mortero en seco

Fuente. NTE INEN 2518(2010)

La tabla 4 analiza las propiedades del mortero en su estado seco, centrándose en aspectos críticos como la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, adherencia, absorción capilar, módulo de formación y extensibilidad. Cada una de estas propiedades tiene una gran influencia en el comportamiento y desempeño del mortero en aplicaciones de construcción, y se evalúan mediante procedimientos específicos normados.

La resistencia a la compresión del mortero es un parámetro fundamental que depende del contenido de cemento y de la relación agua-cemento. Este parámetro es crucial porque determina la capacidad del mortero para soportar cargas aplicadas, lo que es vital para la integridad estructural. El procedimiento estándar en laboratorio para medir esta resistencia se realiza utilizando cubos de mortero de 50 mm de lado, conforme a las normas aceptadas para asegurar precisión y consistencia en los resultados. (Cornejo Carnero, 2023)

La resistencia a la flexión es otra propiedad clave, que se refiere a la capacidad del mortero para resistir fuerzas que tienden a doblarlo o flexionarlo. Este ensayo se realiza de acuerdo con la norma ASTM C293/293 M-10, que especifica el método para medir la resistencia a la flexión en morteros, un parámetro importante para aplicaciones donde el mortero debe soportar tensiones de flexión, como en elementos estructurales delgados o expuestos a cargas variables.

La adherencia del mortero es la capacidad que tiene de absorber tensiones normales y tangenciales en la superficie de unión entre el mortero y la estructura. Una buena adherencia es esencial para asegurar la estabilidad y durabilidad de la estructura. Este parámetro se evalúa siguiendo la norma ASTM C952-12, que proporciona el método de ensayo para medir la adherencia del mortero, asegurando que el material cumpla con los estándares necesarios para una correcta aplicación.

La absorción capilar es una medida de la capacidad del mortero para absorber agua a través de sus poros por acción capilar. Este parámetro es crucial porque una alta absorción puede afectar negativamente la durabilidad del mortero, al permitir la penetración de agua que puede causar deterioro. Las normas NTG 41017 h23 y UNE-EN1015-18 son las que se utilizan para medir este coeficiente, junto con la porosidad total y la densidad del mortero, aspectos que influyen directamente en su capacidad de resistir la penetración de agua y en su durabilidad a largo plazo.

El módulo de formación también se evalúa utilizando las mismas normas (NTG 41017 h23 y UNE-EN1015-18). Este parámetro está relacionado con la absorción capilar y la densidad, y ayuda a caracterizar la estructura interna del mortero, lo cual es esencial para entender su comportamiento en distintas condiciones de servicio.

Finalmente, la extensibilidad se refiere a la capacidad del mortero en una mampostería para resistir la penetración del agua. Esta propiedad es vital para prevenir daños por humedad y asegurar la durabilidad de la estructura en ambientes húmedos o expuestos a la intemperie.

En conjunto, estas propiedades del mortero en estado seco son fundamentales para garantizar su rendimiento en aplicaciones de construcción. Cada propiedad está

normada y medida según procedimientos estandarizados para asegurar que el mortero cumpla con los requisitos de calidad y seguridad necesarios para su uso en edificaciones y estructuras.

2.2.2. La cascarilla de arroz

Es una planta la cual pertenece a las gramíneas que está compuesta por una parte llamada germen que es la parte más esencial e importante ya que contienen grandes cantidades de nutrientes también contiene ácidos grasos entre otros. Todo lo mencionado antes unirse dan lugar al crecimiento del grano, la otra parte llamada endospermo y representa el 70% del volumen del grano que al final se denomina como arroz blanco. La cascarilla representa alrededor del 20% la cual es retirada con el proceso de pilado (Jaramillo, 2011).

La cascarilla en los diferentes estados puede representar un contenido de humedad diferente, en cada uno de sus estados podemos representarla de la siguiente manera

Tabla 5

Exposición de la cascarilla de arroz diferente contenido de humedad

| Cascarilla de arroz | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
| Humedad | C | H | O | N | S | Cenizas |
| 8.6 | 42.5 | 6.0 | 36.2 | 0.21 | 0.49 | 14.6 |
| 8.9 | 39.1 | 5.2 | 37.2 | 0.27 | 0.43 | 17.8 |
| 9.4 | 33.4 | 4.3 | 38.5 | 0.38 | 0.32 | 23.1 |

Nota En la tabla expuesta diferenciamos el estado de cascarilla con diferente humedad

Fuente Sánchez (2017)

La tabla 5 presentada detalla cómo varía la composición química de la cascarilla de arroz bajo diferentes niveles de humedad, examinando los elementos principales como el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S) y el contenido de cenizas. Estos cambios son importantes para entender cómo la humedad puede influir

en las propiedades de la cascarilla de arroz, que a menudo se utiliza en aplicaciones industriales, incluyendo su uso como material en la construcción o en procesos de combustión. (Cornejo Carnero, 2023)

En primer lugar, se observa que la humedad de la cascarilla de arroz varía entre 8.6% y 9.4%. Esta variación es relativamente pequeña, pero suficiente para influir en la proporción de otros elementos presentes en la cascarilla. A medida que aumenta la humedad, se produce una tendencia general a la disminución del contenido de algunos componentes clave, mientras que otros aumentan, lo que sugiere que la absorción de agua tiene un impacto directo en la composición química global.

El contenido de carbono (C) disminuye notablemente a medida que aumenta la humedad, pasando de 42.5% en la cascarilla con menor humedad a 33.4% en la cascarilla con mayor humedad. Esto sugiere que el aumento del agua en la cascarilla diluye la concentración de carbono, lo cual es esperable dado que el carbono es un componente principal de la materia orgánica. La reducción en la concentración de carbono puede afectar las propiedades energéticas de la cascarilla, especialmente si se utiliza en procesos que dependen de su contenido calórico.

Similar al carbono, el contenido de hidrógeno (H) también muestra una disminución conforme aumenta la humedad, desde un 6.0% en la cascarilla menos húmeda hasta un 4.3% en la más húmeda. Dado que el hidrógeno está presente tanto en la materia orgánica como en el agua, este descenso es coherente con la reducción en el contenido de carbono y podría indicar una mayor proporción de agua en la composición.

En contraste, el contenido de oxígeno (O) aumenta ligeramente con el aumento de la humedad, pasando de 36.2% a 38.5%. Este aumento es comprensible, dado que el oxígeno es un componente del agua, lo que sugiere que el incremento en la humedad está contribuyendo directamente a la mayor proporción de oxígeno en la cascarilla de arroz. Esto podría tener implicaciones para las reacciones químicas que involucran la cascarilla, especialmente en procesos de combustión.

El contenido de nitrógeno (N) muestra un aumento moderado, desde 0.21% en la cascarilla con menor humedad hasta 0.38% en la cascarilla con mayor humedad. Aunque el nitrógeno no cambia tanto como otros elementos, este incremento podría estar relacionado con la absorción de compuestos nitrogenados junto con el agua, lo que podría influir en el comportamiento de la cascarilla en aplicaciones agrícolas o industriales.

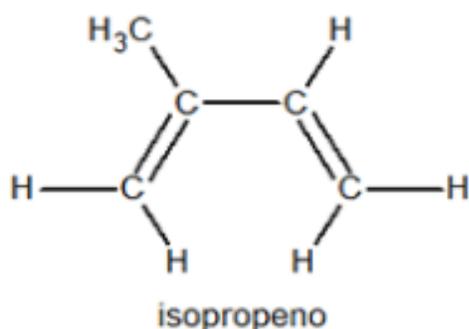
Finalmente, el contenido de cenizas también aumenta con el incremento de la humedad, pasando de 14.6% a 23.1%. Las cenizas representan los residuos inorgánicos que quedan después de la combustión, y su aumento podría indicar una mayor presencia de minerales no combustibles a medida que la humedad diluye los componentes orgánicos. Este aspecto es particularmente relevante para la eficiencia de la cascarilla como biocombustible o su comportamiento como aditivo en materiales de construcción.

2.2.3. El caucho

El caucho o polímero que en conjunto de un hidrocarburo elástico que contiene isopropeno C_5H_8 que es el resultado de una emulsión lechosa o más conocida como LATEX que se la encuentra en las plantas precisamente en su savia y a su vez puede ser producida de manera sintética, si composición molecular se puede observar en la figura 2. (Gil, 2023)

Figura 2

Estructura de un caucho natural



Fuente: Luna (2013)

La implementación del caucho natural se dio a descubrir luego del descubrimiento de América, el cual se encuentra como una solución de látex y contiene del 2 hasta el 4% como materia proteica, también se identifica del 1 hasta el 4% entre resinas y otros. El porcentaje restante es hidrocarburo del mismo caucho, este al recibir calor se torna pegajoso y blando, también puede tornarse duro al recibir frío.

Tabla 6

Grandes productores en el mundo

| Pais | Toneladas Métricas por Año |
|------------------|-----------------------------------|
| Malasia | 1291500 |
| Tailandia | 1258000 |
| Indonesia | 1175000 |
| India | 323500 |
| China | 240000 |
| Filipinas | 168000 |
| Nigeria | 140900 |

Fuente: Luna (2013)

Como se observa en la tabla 6, Tailandia, Indonesia y Malasia son los principales productores de caucho natural en el mundo, liderando una industria que es esencial para numerosas aplicaciones, desde la fabricación de neumáticos hasta productos médicos. Tailandia, con una producción anual de aproximadamente 4,7 millones de toneladas métricas, se posiciona como el mayor productor global. Su clima favorable, junto con una infraestructura agrícola bien desarrollada, permite que el país mantenga su liderazgo en la producción de caucho, lo cual es vital para su economía rural. La exportación de caucho representa una parte significativa de las ganancias del país, con una demanda impulsada principalmente por mercados como China e India. (Luna, 2013)

Indonesia, con una producción anual de alrededor de 3,3 millones de toneladas métricas, sigue de cerca a Tailandia en el ranking mundial. La industria del caucho en Indonesia se sustenta principalmente en pequeñas explotaciones agrícolas. El gobierno indonesio ha implementado políticas para mejorar la productividad, como el apoyo a la replantación y la modernización de técnicas agrícolas. La mayor parte del caucho producido en Indonesia se exporta a mercados internacionales, siendo China, la Unión Europea y Estados Unidos algunos de sus principales destinos. Esta industria es también una fuente clave de empleo para millones de personas en el país.

Malasia, con una producción anual de aproximadamente 1,3 millones de toneladas métricas, se destaca no solo por su cantidad, sino también por la calidad del caucho que produce. El país ha invertido considerablemente en investigación y desarrollo para mejorar tanto la eficiencia como la calidad de su producción de caucho natural. Además, Malasia es un importante productor de caucho sintético, lo que le permite mantener una posición competitiva en el mercado global. La diversificación en productos derivados del caucho ha permitido a Malasia adaptarse a las cambiantes demandas del mercado internacional.

Además de estos tres líderes, otros países como Vietnam, China e India también juegan un papel importante en la producción mundial de caucho. Vietnam ha experimentado un crecimiento significativo en su producción, beneficiándose de su proximidad a China, uno de los mayores consumidores de caucho. China, aunque es un productor relevante, depende en gran medida de las importaciones para satisfacer la demanda de su vasta industria manufacturera. Por su parte, India es un gran consumidor de su propia producción, impulsada por su creciente industria automotriz.

La industria mundial del caucho está dominada por estos países del sudeste asiático, que juntos representan una gran parte de la producción global. Sin embargo, deben enfrentar desafíos como la competencia del caucho sintético, la fluctuación de precios y los efectos del cambio climático para mantener su posición en el mercado mundial. La sostenibilidad y la innovación serán claves para que estos países continúen liderando la producción de este material esencial en el futuro.

2.2.3.1. *Propiedades del caucho*

El caucho como se sabe su naturaleza es plástico la cual se vuelve maleable al aplicarle calor y puede adoptar nuevas formas físicas dependiendo del nuevo uso, la única forma para modificar su plasticidad es mediante la implementación de productos químicos, cuando se estira o se deforma por mucho tiempo el caucho pierde la propiedad de volver a su estado original a esto se le denomina deformación residual. (Bazan Alcalde, 2022)

Por otra parte, su alta resistencia a la electricidad es el motivo por la cual es el material idóneo para la fabricación de protecciones como guantes, carcasas para celulares, zapatos etc.

Tabla 7

Diferentes aplicaciones del caucho

| TIPO | NATURALEZA | APLICACIONES |
|--------------|---|---|
| S | Copolímeros del butadieno y estireno | Neumáticos |
| N | Copolímeros del butadieno y acronitrilo | Productos resistentes al calor |
| Neopreno | Polímeros del cloropreno | Productos resistentes al envejecimiento |
| Vinilo | Cloruro de polivinilo y alcohol | Chapado |
| Poliuretano | Poliésteres | Espuma de Calzado |
| Siliconas | Clorosilanos | Empaques |
| Polisulfuros | Productos resultantes de la reacción de dicloruros orgánicos y polisulfuros alcalinos | Rodillos de Imprenta |
| Acrílicos | Derivados de la clorhidrina | Aislantes |

Fuente: Chávez (2021)

La tabla 7 presenta una clasificación de diferentes tipos de caucho según su naturaleza química y sus aplicaciones industriales. Cada tipo de caucho es derivado de polímeros o copolímeros específicos, lo que determina sus propiedades únicas y los hace adecuados para diversas aplicaciones.

El Tipo S es un caucho compuesto por copolímeros de butadieno y estireno. Este material se utiliza principalmente en la fabricación de neumáticos, debido a su resistencia al desgaste y su capacidad para absorber impactos, características esenciales para el rendimiento y la durabilidad de los neumáticos.

El Tipo N está compuesto por copolímeros de butadieno y acronitrilo. Este tipo de caucho se utiliza en la fabricación de productos que requieren una alta resistencia al calor. Su composición le proporciona una excelente estabilidad térmica, además de una notable resistencia a la degradación por aceites y grasas, lo que lo hace ideal para aplicaciones en ambientes exigentes.

El Neopreno, que se deriva de polímeros del cloropreno, es conocido por su capacidad para resistir el envejecimiento. Este tipo de caucho se utiliza en productos que necesitan mantener su integridad estructural y funcionalidad a lo largo del tiempo, incluso cuando están expuestos a condiciones ambientales adversas.

El Vinilo es un material compuesto por cloruro de polivinilo y alcohol, y se utiliza principalmente para el chapado. Su uso en esta aplicación se debe a su durabilidad y resistencia a la humedad, lo que lo hace adecuado para recubrimientos protectores y decorativos.

El Poliuretano, derivado de poliésteres, se emplea en la producción de espuma para calzado. Este tipo de caucho es valorado por su flexibilidad, comodidad y capacidad para absorber impactos, lo que mejora la calidad del calzado.

Las Siliconas, compuestas por clorosilanos, son utilizadas en empaques. Este tipo de caucho es apreciado por su resistencia al calor, estabilidad química y propiedades aislantes, lo que lo hace ideal para sellos y empaques que requieren una alta durabilidad y resistencia a condiciones extremas.

Los Polisulfuros son productos resultantes de la reacción de dicloruros orgánicos y polisulfuros alcalinos. Este tipo de caucho se utiliza en rodillos de imprenta, donde su resistencia química y durabilidad son esenciales para soportar el desgaste constante en aplicaciones industriales.

Finalmente, los Acrílicos, que son derivados de la clorhídrica, se emplean como aislantes. Este tipo de caucho es ideal para aplicaciones que requieren una alta resistencia a la intemperie y propiedades aislantes, protegiendo estructuras y sistemas de factores ambientales adversos.

2.2.3.2. Principales fuentes de contaminación del caucho

Como se menciona el uso caucho se ve muy atractivo por sus características físicas para ser implementado en la fabricación en su sin número de productos como protectores entre otros, pero su uso más habitual y común es dentro de la industria automotriz en la fabricación de llantas de cualquier diámetro o tamaño, una llanta también necesita tener un grupo de elementos que la conforman y a su vez un proceso de fabricación. (Iagua, 2023)

Tabla 8

Elementos que conforman una llanta

| Compuesto | Porcentaje |
|------------------|------------|
| Caucho Natural | 19% |
| Caucho Sintético | 26% |
| Negro de Humo | 23% |
| Tejidos | 9% |
| Alambre | 3% |
| Aceite | 6% |
| Óxido Esteárico | 6% |
| Óxido de Zinc | 4% |
| Sulfuro | 3% |
| Accelerantes | 1% |

Nota: Componente de una llanta.

Fuente Chávez (2021)

La tabla 8 desglosa los componentes principales de una llanta, destacando la importancia del caucho sintético (26%) y el negro de humo (23%), que juntos forman la mayor parte de la estructura de la llanta. El caucho sintético aporta flexibilidad y durabilidad, mientras que el negro de humo refuerza la resistencia al desgaste y mejora la tracción. El caucho natural, que representa el 19%, se suma a esta combinación para proporcionar elasticidad y resistencia a la fatiga, complementando las propiedades del caucho sintético.

Otros componentes esenciales incluyen los tejidos (9%) y el alambre (3%), que refuerzan la estructura de la llanta, y una serie de aditivos como el aceite y el óxido esteárico (6% cada uno), que mejoran la procesabilidad y longevidad del caucho.

El óxido de zinc (4%), el sulfuro (3%) y los acelerantes (1%) juegan roles cruciales en el proceso de vulcanización, garantizando que la llanta adquiera las propiedades físicas necesarias para un rendimiento óptimo y seguro. Esta combinación de materiales asegura que las llantas sean duraderas, flexibles y capaces de soportar condiciones de manejo variadas.

2.2.4. Propiedades Acústicas de los Materiales de Construcción

2.2.4.1. Principios Teóricos del Aislamiento Acústico

El aislamiento acústico de los materiales de construcción se basó en una serie de principios físicos que determinaron cómo estos materiales interactuaron con las ondas sonoras, con el objetivo de reducir la transmisión de ruido no deseado y mejorar el confort acústico en espacios habitables. (García, 2020)

Los conceptos clave involucrados en este fenómeno incluyeron la absorción sonora, la transmisión de sonido y la reflexión sonora, cada uno de los cuales desempeñó un papel crucial en la determinación de la efectividad acústica de un material.

1. **Absorción Sonora:** La absorción sonora se refiere a la capacidad de un material para capturar y disipar la energía de las ondas sonoras que inciden sobre su superficie. Este proceso es fundamental en la reducción de la reverberación y el eco dentro de un espacio cerrado, mejorando así la claridad del sonido. Los

materiales acústicos con altas propiedades absorbentes, como la lana mineral, el caucho reciclado y algunos tipos de espumas acústicas, son diseñados específicamente para minimizar las reflexiones internas del sonido.

La eficacia de la absorción se cuantifica mediante el coeficiente de absorción, un valor adimensional que varía entre 0 y 1, donde 0 indica una superficie completamente reflectante y 1 indica una absorción total del sonido. La absorción sonora es particularmente efectiva en frecuencias medias y altas, que son las más críticas en términos de inteligibilidad del habla y la percepción de la calidad del sonido.

2. **Transmisión de Sonido:** La transmisión de sonido a través de un material es un fenómeno que depende de la densidad, rigidez y masa del material. El índice de reducción sonora (STC, Sound Transmission Class) es una medida estándar que se utiliza para evaluar la capacidad de un material o conjunto de materiales (como una pared o partición) para bloquear la transmisión del sonido aéreo. (Long, 2021)

Un material con un alto valor de STC ofrece un mayor nivel de aislamiento acústico, lo cual es esencial en aplicaciones donde la privacidad y la reducción del ruido entre habitaciones son críticas. La transmisión de sonido también se ve afectada por la estructura del material, donde materiales homogéneos tienden a tener un comportamiento predecible, mientras que los materiales compuestos o multicapa pueden ofrecer un mejor rendimiento acústico debido a la interferencia de ondas y la amortiguación interna.

3. **Reflexión Sonora:** La reflexión sonora ocurre cuando una onda de sonido choca con una superficie y es devuelta al espacio desde donde provino. Las superficies duras y lisas, como el concreto o el vidrio, son altamente reflectantes y pueden contribuir a una mala acústica en un espacio si no se gestionan adecuadamente.

La reflexión es un fenómeno crucial a considerar en el diseño de auditorios, salas de conciertos y otros espacios donde la calidad acústica es primordial. En estos casos, se utilizan difusores y paneles absorbentes estratégicamente colocados para controlar las reflexiones y lograr un equilibrio entre la absorción y la reflexión, lo que garantiza que el sonido sea claro y bien distribuido en todo el espacio.

2.2.4.2. Características Acústicas del Caucho Reciclado y la Cascarilla de Arroz

Los estudios sobre el caucho reciclado y la cascarilla de arroz han demostrado que estos materiales poseen características acústicas notables que los hacen adecuados para su uso en aplicaciones de aislamiento acústico en la construcción. Estas propiedades acústicas provienen de sus estructuras físicas y la manera en que interactúan con las ondas sonoras.

1. **Caucho Reciclado:** El caucho reciclado, derivado en su mayoría de neumáticos fuera de uso (NFU), ha mostrado ser un material altamente efectivo para la absorción de sonido. Su estructura celular y su elasticidad natural permiten que el caucho atenúe tanto el ruido aéreo como el de impacto, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en suelos y paredes. (Rossing, 2021)

La capacidad del caucho reciclado para absorber sonido se debe a su disposición irregular de partículas, lo que permite que las ondas sonoras se disipen en su interior, reduciendo significativamente la cantidad de sonido que se refleja o se transmite. Según estudios realizados, los paneles de caucho reciclado pueden lograr coeficientes de absorción sonora superiores a 0.8 en frecuencias medias, lo que los sitúa a la par o incluso por encima de materiales acústicos tradicionales. Además, su flexibilidad y resistencia al desgaste lo hacen especialmente útil en entornos industriales y comerciales, donde se requiere una mitigación efectiva del ruido junto con durabilidad mecánica.

2. **Cascarilla de Arroz:** La cascarilla de arroz, un subproducto agrícola generado en grandes cantidades, ha sido evaluada como un componente prometedor en la fabricación de materiales de construcción con propiedades acústicas mejoradas. Su estructura fibrosa y ligera le confiere una capacidad natural para absorber y dispersar las ondas sonoras, especialmente en las frecuencias altas.

Los estudios han demostrado que cuando la cascarilla de arroz se incorpora en morteros y paneles acústicos, no solo se mejora la absorción del sonido, sino que también se incrementa la sostenibilidad del material al reducir la dependencia de

recursos no renovables. En particular, investigaciones recientes han revelado que la incorporación de un 15-20% de cascarilla de arroz en la mezcla de mortero puede reducir la transmisión de sonido en hasta un 25% en comparación con morteros convencionales. Esto se debe a que las partículas de cascarilla actúan como amortiguadores, interrumpiendo la propagación de las ondas sonoras y aumentando la efectividad global del aislamiento acústico.

Además, tanto el caucho reciclado como la cascarilla de arroz contribuyen a la sostenibilidad medioambiental al reutilizar residuos industriales y agrícolas que de otro modo acabarían en vertederos o incinerados. La integración de estos materiales en productos de construcción no solo proporciona soluciones acústicas eficaces, sino que también promueve prácticas de construcción más ecológicas y responsables.

A medida que la industria de la construcción avanza hacia un futuro más sostenible, el uso de materiales reciclados como el caucho y la cascarilla de arroz probablemente jugará un papel cada vez más importante en el diseño y desarrollo de edificaciones que satisfacen tanto las necesidades funcionales como las ambientales.

2.2.5. Impacto Ambiental y Sostenibilidad

2.2.5.1. Huella de Carbono del Caucho Reciclado

El uso de caucho reciclado en lugar de materiales vírgenes en la construcción y otras aplicaciones industriales ha demostrado ser una estrategia eficaz para reducir las emisiones de carbono asociadas con la producción y disposición de neumáticos.

Los neumáticos fuera de uso (NFU), cuando no se gestionan adecuadamente, suelen terminar en vertederos o ser incinerados, ambos procesos que liberan grandes cantidades de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. En contraste, el reciclaje de caucho implica la revalorización de estos residuos, evitando la extracción y procesamiento de nuevas materias primas, lo que se traduce en una significativa reducción de la huella de carbono (Crocker, 2020).

Según un informe de la *European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (ETRMA)*, el reciclaje de neumáticos puede reducir hasta en un 80% las emisiones de

CO₂ en comparación con la producción de caucho virgen. Este ahorro se debe en gran parte a la eliminación de procesos energéticamente intensivos, como la extracción de petróleo, que es el principal insumo para la producción de caucho sintético. (Gawron, 2023)

Además, el uso de caucho reciclado en la fabricación de materiales de construcción, como morteros y revestimientos acústicos, no solo disminuye la demanda de recursos naturales, sino que también reduce el impacto ambiental a lo largo de la cadena de suministro.

Un estudio realizado por la *International Journal of Life Cycle Assessment* en 2021 concluyó que, por cada tonelada de caucho reciclado utilizada, se evita la emisión de aproximadamente 1,5 toneladas de CO₂ equivalente. Este impacto positivo se amplifica cuando el caucho reciclado se emplea en aplicaciones de larga duración, como en pavimentos y productos de construcción, donde el material puede seguir desempeñando su función durante décadas sin necesidad de reemplazo frecuente, contribuyendo así a la sostenibilidad general del proyecto. (Gawron, 2023)

2.2.5.2. Sostenibilidad del Uso de Cascarilla de Arroz en la Construcción

La reutilización de la cascarilla de arroz, un subproducto abundante de la industria arrocera, en la construcción ha surgido como una práctica altamente sostenible que aborda dos desafíos ambientales simultáneamente: la gestión de residuos agrícolas y la reducción de la dependencia de materiales de construcción no renovables.

Anualmente, se generan millones de toneladas de cascarilla de arroz en países como India, China y Brasil, donde una gran parte de este residuo se quema al aire libre, liberando dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos.

Incorporar la cascarilla de arroz en materiales de construcción, como morteros y paneles, no solo mitiga estos problemas ambientales, sino que también promueve la economía circular al convertir un residuo agrícola en un recurso valioso.

La cascarilla de arroz posee propiedades físicas que la hacen adecuada para su uso en la construcción, tales como su baja densidad, alta resistencia al fuego y buen

rendimiento térmico y acústico. Estas características permiten que los materiales que la incorporan contribuyan tanto a la eficiencia energética como al confort acústico de las edificaciones.

Estudios realizados por el *Journal of Cleaner Production* han demostrado que el uso de cascarilla de arroz en morteros puede reducir las emisiones de CO₂ en la construcción en hasta un 30%, comparado con morteros convencionales que utilizan agregados totalmente vírgenes.

Esta reducción se debe principalmente a la menor demanda de energía en la producción y al menor peso del material resultante, lo que también disminuye las emisiones asociadas con el transporte.

Además, la integración de cascarilla de arroz en la construcción apoya el desarrollo de economías locales, especialmente en regiones agrícolas, al generar una demanda constante para este subproducto. Esto no solo ofrece una fuente adicional de ingresos para los agricultores, sino que también reduce la necesidad de prácticas de gestión de residuos que podrían ser perjudiciales para el medio ambiente, como la quema o el vertido incontrolado.

2.2.6. Normativas y Estándares de Ruido en Entornos Urbanos

El control del ruido en entornos urbanos es fundamental para garantizar la calidad de vida de los habitantes, especialmente en áreas residenciales y comerciales donde la exposición continua a niveles elevados de ruido puede tener efectos adversos en la salud. Las normativas internacionales, como las establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), juegan un papel crucial en la definición de los límites máximos permitidos de ruido ambiental. Estas guías son esenciales para la protección de la salud pública, ya que especifican los niveles de decibeles (dB) que no deben ser superados en diferentes entornos y momentos del día.

Según las directrices de la OMS, en áreas residenciales, el ruido no debería superar los 55 dB durante el día y los 40 dB durante la noche. Estos límites están diseñados para prevenir disturbios del sueño y otros efectos negativos asociados con la

exposición prolongada al ruido, como el aumento de la presión arterial, el estrés, y la posibilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares. En zonas comerciales, aunque los límites pueden ser ligeramente más altos debido a la naturaleza de las actividades realizadas, la OMS también recomienda que se mantengan dentro de niveles que no comprometan la salud de los trabajadores y visitantes, sugiriendo un máximo de 70 dB durante el día.

La implementación de estas normativas no es uniforme en todos los países, lo que da lugar a diferencias en los niveles de ruido aceptables entre distintas jurisdicciones. Por ejemplo, mientras que en algunos países europeos las regulaciones tienden a ser más estrictas, en otras regiones, los límites pueden ser más flexibles, lo que refleja las variaciones en las políticas nacionales y las capacidades de monitoreo y control. Este subtema se centrará en la comparación de las regulaciones acústicas a nivel internacional, evaluando cómo se alinean con las recomendaciones de la OMS y analizando los desafíos y oportunidades para su aplicación efectiva en contextos urbanos diversos.

Además, se explorarán los efectos de no cumplir con estos estándares, incluyendo el impacto en la salud pública y los costos asociados con la mitigación de los problemas de ruido. La importancia de cumplir con los límites de decibeles establecidos se destacará como un componente clave en la planificación urbana y en la construcción de infraestructuras que no solo sean funcionales, sino también seguras y confortables para los usuarios.

Finalmente, se discutirá cómo la incorporación de materiales innovadores, como el mortero a base de caucho y cascarillas de arroz reciclados, puede contribuir significativamente al cumplimiento de estos estándares. Estos materiales, al mejorar el aislamiento acústico de las construcciones, ofrecen una solución sostenible y efectiva para reducir el impacto del ruido en entornos urbanos, facilitando así la adherencia a las normativas internacionales y promoviendo un entorno más saludable para la población.

2.2.7. Impacto del Aislamiento Acústico en la Calidad de Vida

El aislamiento acústico desempeña un papel crucial en la mejora de la calidad de vida, especialmente en entornos urbanos donde el ruido es un factor omnipresente. El control eficaz del ruido no solo contribuye al confort de los habitantes, sino que también tiene un impacto significativo en la salud física y mental de las personas. Diversos estudios han demostrado que una adecuada protección contra el ruido ambiental puede reducir considerablemente la incidencia de enfermedades relacionadas con la exposición prolongada al ruido, tales como trastornos del sueño, hipertensión, enfermedades cardiovasculares y estrés crónico.

2.2.7.1. Relación entre el aislamiento acústico y la reducción de enfermedades relacionadas con el ruido

La exposición constante a altos niveles de ruido puede desencadenar una serie de problemas de salud, desde dificultades para conciliar el sueño hasta trastornos más graves como la hipertensión y enfermedades cardíacas. El ruido ambiental, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas, es un factor de estrés importante que puede alterar el equilibrio hormonal y aumentar los niveles de cortisol en el cuerpo, lo que contribuye al desarrollo de enfermedades crónicas. Un aislamiento acústico efectivo actúa como una barrera protectora, disminuyendo la cantidad de ruido que penetra en los espacios habitables y, por ende, reduciendo el riesgo de desarrollar estas afecciones. Al mejorar el aislamiento acústico en hogares, escuelas y lugares de trabajo, se pueden prevenir o mitigar los efectos adversos del ruido en la salud, promoviendo un ambiente más saludable y equilibrado.

2.2.7.2. Beneficios del aislamiento acústico en entornos educativos y laborales

El ruido no controlado puede ser un obstáculo importante para el aprendizaje y la productividad. En entornos educativos, la exposición al ruido puede interferir con la capacidad de los estudiantes para concentrarse, lo que afecta negativamente su rendimiento académico y su bienestar emocional. De manera similar, en entornos laborales, el ruido excesivo puede reducir la productividad, aumentar la tasa de errores

y contribuir a una mayor incidencia de fatiga y estrés entre los trabajadores. Un adecuado aislamiento acústico en estos entornos no solo mejora la calidad del ambiente, sino que también potencia la concentración y la eficiencia, permitiendo que tanto estudiantes como trabajadores puedan desempeñarse en condiciones óptimas.

En las escuelas, por ejemplo, la reducción del ruido mediante el uso de materiales acústicos adecuados contribuye a crear un entorno más tranquilo que favorece la comprensión y retención de la información, además de reducir la fatiga mental. En oficinas y fábricas, un buen aislamiento acústico puede mejorar la comunicación entre los empleados, reducir los niveles de estrés y, en última instancia, aumentar la productividad y satisfacción laboral.

2.2.8. Comparación de Costos entre Materiales Tradicionales y Reciclados

La evaluación económica del uso de materiales reciclados, como el caucho y la cascarilla de arroz, en la producción de morteros, comparada con materiales tradicionales, reveló diferencias significativas en los costos de producción y aplicación. Esta comparación se centró en varios factores clave, incluyendo el costo de las materias primas, el proceso de fabricación, y la logística de transporte y aplicación.

Costo de Materias Primas

El caucho reciclado y la cascarilla de arroz presentan ventajas económicas notables en comparación con los materiales vírgenes. El caucho reciclado, proveniente de neumáticos desechados, es generalmente más económico debido a la abundancia de neumáticos fuera de uso y los incentivos para su reciclaje.

Según un informe de la *European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (ETRMA)*, el costo de caucho reciclado puede ser entre un 30% y un 50% menor que el del caucho virgen. Por otro lado, la cascarilla de arroz, un subproducto de la industria agrícola, es un material de bajo costo, especialmente en regiones donde la producción de arroz es elevada, lo que reduce significativamente el costo de los agregados en los morteros que la incorporan.

Proceso de Fabricación

El proceso de fabricación de morteros que incluyen caucho reciclado y cascarilla de arroz puede ser ligeramente más complejo debido a la necesidad de adaptar las mezclas y garantizar la homogeneidad de los materiales. Sin embargo, los ahorros en costos de materias primas suelen compensar cualquier incremento en los costos de procesamiento. Además, el uso de estos materiales reciclados puede reducir la dependencia de aditivos y mejoradores de rendimiento, lo que también contribuye a la reducción de costos en el proceso de fabricación.

Costos de Transporte y Aplicación

En términos de transporte, los morteros que incorporan caucho reciclado y cascarilla de arroz tienden a ser más livianos que los morteros tradicionales, lo que puede reducir los costos de transporte. Esta reducción en peso no solo disminuye el costo del flete, sino que también facilita la manipulación y aplicación en el sitio de construcción, lo que a su vez puede disminuir los costos laborales. Además, el uso de materiales locales, como la cascarilla de arroz, puede reducir aún más los costos logísticos, especialmente en áreas rurales donde estos recursos son abundantes.

2.2.8.1. Beneficios Económicos a Largo Plazo

Además de los ahorros inmediatos en los costos de producción y aplicación, el uso de materiales reciclados como el caucho y la cascarilla de arroz ofrece beneficios económicos significativos a largo plazo, relacionados principalmente con la durabilidad, el mantenimiento y la eficiencia energética.

Reducción de Costos de Mantenimiento

Los morteros que incorporan caucho reciclado son conocidos por su durabilidad y resistencia al desgaste, lo que puede prolongar la vida útil de las estructuras y reducir la necesidad de reparaciones frecuentes.

El caucho reciclado, debido a sus propiedades elásticas, ofrece una mayor resistencia a las fisuras y deformaciones, lo que es especialmente beneficioso en

aplicaciones donde se requiere resistencia a impactos y vibraciones. Esto se traduce en menores costos de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la estructura.

Mejoras en la Eficiencia Energética

La cascarilla de arroz, cuando se utiliza en morteros, contribuye a mejorar las propiedades de aislamiento térmico del material, lo que puede resultar en ahorros significativos en los costos de calefacción y refrigeración de los edificios. Este beneficio es especialmente relevante en climas extremos, donde la eficiencia energética es crucial para reducir los costos operativos.

Estudios han demostrado que la incorporación de un 15-20% de cascarilla de arroz en morteros puede mejorar la eficiencia energética de los edificios en hasta un 10-15%, lo que representa un ahorro considerable a lo largo del tiempo.

Impacto en el Valor de la Propiedad

Las estructuras construidas con materiales sostenibles y eficientes energéticamente, como los que incluyen caucho reciclado y cascarilla de arroz, tienden a ser más valoradas en el mercado inmobiliario. Los compradores y arrendatarios cada vez más prefieren edificios que ofrecen costos operativos más bajos y que están alineados con prácticas de construcción sostenibles, lo que puede aumentar el valor de reventa y la rentabilidad de la inversión en tales propiedades.

La evaluación económica muestra que los morteros que incorporan caucho reciclado y cascarilla de arroz no solo son competitivos en términos de costos iniciales, sino que también ofrecen ventajas económicas a largo plazo. Estos beneficios, combinados con las ventajas medioambientales, hacen que estos materiales sean una opción atractiva para proyectos de construcción sostenibles.

2.3. MARCO LEGAL

En el presente proyecto las leyes y normativas que se deben considerar son las siguientes:

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento, y uso de armas 22 químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional. (Asamblea Nacional Constituyente de ECUADOR, 2008)

Art. 38, numeral 6.- Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible. (Asamblea Nacional Constituyente de ECUADOR, 2008)

Art. 54.- Las personas o entidades que presten servicios públicos o que produzcan o comercialicen bienes de consumo, serán responsables civil y penalmente por la deficiente prestación del servicio, por la calidad defectuosa del producto, o cuando sus condiciones no estén de acuerdo con la publicidad efectuada o con la descripción que incorpore. Las personas serán responsables por la mala práctica en el ejercicio de su profesión, arte u oficio, en especial aquella que ponga en riesgo la integridad o la vida de las personas. (Asamblea Nacional Constituyente de ECUADOR, 2008)

Art. 66, numeral 15.- El derecho a desarrollar actividades económicas, en forma individual o colectiva, conforme a los principios de solidaridad, responsabilidad social y ambiental. (Asamblea Nacional Constituyente de ECUADOR, 2008)

Art. 385, numeral 3.- Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulse la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyen a la realización del buen vivir. (Asamblea Nacional Constituyente de ECUADOR, 2008)

2.3.2. Código Orgánico Ambiental (Coa)

El Código Orgánico del Ambiente (COA) es la legislación más relevante en materia ambiental en el país en la actualidad, ya que regula los temas necesarios para una gestión ambiental adecuada. (MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICION ECOLOGICA (Ministerio Del Ambiente, Agua Y Transicion Ecologica [MAE], 2017)

Art. 1.- Objeto. Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o Sumak Kawsay.

Las disposiciones de este Código regularán los derechos, deberes y garantías ambientales contenidos en la Constitución, así como los instrumentos que fortalecen su ejercicio, los que deberán asegurar la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente, sin perjuicio de lo que establezcan otras leyes sobre la materia que garanticen los mismos fines. (Ministerio Del Ambiente, Agua Y Transicion Ecologica [MAE], 2017)

Art. 3.- Fines. Son fines de este Código:

4. Establecer, implementar e incentivar los mecanismos e instrumentos para la conservación, uso sostenible y restauración de los ecosistemas, biodiversidad y sus componentes, patrimonio genético, Patrimonio Forestal Nacional, servicios ambientales, zona marino costera y recursos naturales;

5. Regular las actividades que generen impacto y daño ambiental, a través de normas y parámetros que promuevan el respeto a la naturaleza, a la diversidad cultural, así como a los derechos de las generaciones presentes y futuras;

7. Prevenir, minimizar, evitar y controlar los impactos ambientales, así como establecer las medidas de reparación y restauración de los espacios naturales degradados;

8. Garantizar la participación de las personas de manera equitativa en la conservación, protección, restauración y reparación integral de la naturaleza, así como en la generación de sus beneficios;

9. Establecer los mecanismos que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, así como la articulación y coordinación de las entidades públicas, privadas y de la sociedad civil responsables de realizar actividades de gestión e investigación ambiental, de conformidad con los requerimientos y prioridades estatales;

3. Desarrollo Sostenible. Es el proceso mediante el cual, de manera dinámica, se articulan los ámbitos económicos, social, cultural y ambiental para satisfacer las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras. La concepción de desarrollo sostenible implica una tarea global de carácter permanente. Se establecerá una distribución justa y equitativa de los beneficios económicos y sociales con la participación de personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades.

7. El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;

Estos deberán establecer los procedimientos adecuados para barrido, recolección y transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y transferencia, con enfoques de inclusión económica y social de sectores vulnerables.

Deberán dar tratamiento y correcta disposición final de los desechos que no pueden ingresar nuevamente en un ciclo de vida productivo, implementando los mecanismos que permitan la trazabilidad de los mismos.

Para lo cual, podrán conformar mancomunidades y consorcios para ejercer esta responsabilidad de conformidad con la ley. Asimismo, serán responsables por el

desempeño de las personas contratadas por ellos, para efectuar la gestión de residuos y desechos sólidos no peligrosos y sanitarios, en cualquiera de sus fases.

3. Los generadores de residuos, en base al principio de jerarquización, priorizarán la prevención y minimización de la generación de residuos sólidos no peligrosos, así como el adecuado manejo que incluye la separación, clasificación, reciclaje y almacenamiento temporal; en base a los lineamientos establecidos en la política nacional y normas técnicas.

4. Los gestores de residuos no peligrosos que prestan el servicio para su gestión en cualquiera de sus fases, serán responsables del correcto manejo, para lo cual deberán enmarcar sus acciones en los parámetros que defina la política nacional en el cuidado ambiental y de la salud pública, procurando maximizar el aprovechamiento de materiales. (Ministerio Del Ambiente, Agua Y Transición Ecológica [MAE], 2017)

2.3.3. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente.

Art. 1.- Objeto y ámbito. - El presente Reglamento desarrolla y estructura la normativa necesaria para dotar de aplicabilidad a lo dispuesto en el Código Orgánico del Ambiente.

Constituye normativa de obligatorio cumplimiento para todas las entidades, organismos y dependencias que comprenden el sector público central y autónomo descentralizado, personas naturales y jurídicas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, que se encuentren permanente o temporalmente en el territorio nacional. (Ministerio Del Ambiente, Agua Y Transición Ecológica [MAE], 2019)

Art. 28.- Fines de la investigación ambiental. - La investigación ambiental, como instrumento del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, tendrá los siguientes fines:

- a) Desarrollar y adquirir nuevos conocimientos e información ambiental;

b) Contar con datos científicos y técnicos sobre el medio ambiente, con el objeto de construir políticas y estrategias ambientales nacionales; y,

c) Contar con una base de información científica y técnica que fundamente la toma de decisiones sobre la gestión ambiental, orientadas a prevenir y solucionar problemas ambientales, promover el desarrollo sostenible, garantizar la tutela de los derechos de naturaleza y de las personas. (Ministerio Del Ambiente, Agua Y Transición Ecológica [MAE], 2019)

Art. 33.- Financiamiento de proyectos de investigación ambiental. - La Autoridad Ambiental Nacional podrá financiar proyectos de investigación ambiental enmarcados en el Plan Nacional de Inversiones Ambientales administrado por el Fondo Nacional para la Gestión Ambiental, sin perjuicio del financiamiento que pueda recibirse de otras fuentes.

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, dentro de su Plan de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos, deberán diseñar, implementar, promover y mantener actualizado un componente de aprovechamiento en sus respectivas jurisdicciones, priorizando a recicladores de base y organizaciones de la economía popular y solidaria.

Los residuos orgánicos que se generen en los cantones, incluyendo aquellos que resulten de la limpieza y poda de vegetación de los espacios públicos, deberán ser aprovechados con la alternativa más adecuada a su realidad y se incluirán en los Planes de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos que establezca cada gobierno autónomo descentralizado municipal. Dicho componente del Plan de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos deberá promover y facilitar las actividades de aprovechamiento, para lo que debe basarse en las prácticas y necesidades de cada cantón, priorizando el reciclaje inclusivo.

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, de forma debidamente justificada y motivada podrán solicitar a la Autoridad Ambiental Nacional autorización para el aprovechamiento con fines de generación de energía, lo cual será analizado y aprobado de forma excepcional, bajo los criterios establecidos en

la normativa secundaria correspondiente. (Ministerio Del Ambiente, Agua Y Transición Ecológica [MAE], 2019)

2.3.4. NORMAS TÉCNICAS ECUATORIANAS

Este proyecto está sujeto a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) NTE INEN 2518:2010 el cual implanta las especificaciones para la elaboración de mortero para el uso en la construcción de estructuras con unidades de mampostería reforzada y no reforzada. Los requisitos para la calidad del mortero deben ser los establecidos en esta norma, o los especificados por el usuario, además de la norma ASTM C-12 el cual habla sobre morteros para mampostería de unidades que se utilizan en la construcción de estructuras armada y no armadas. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

En caso de que existan discrepancia en las especificaciones, pueden prevalecer las del usuario siempre que estén basadas en modos de evaluación de las NTE INEN, en tanto no existan éstas, con las ASTM respectivas, considerando las sugerencias del ACI, y normas contempladas internacionalmente. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

La norma NTE INEN 2536:2010 estipula los requerimientos que deben obedecer los áridos empleados para ser empleado en morteros para mampostería, y establecer los ensayos requeridos obligatorios para control y recibimiento. Nos guiaremos de la norma ASTM C27091a que estipula las condiciones para la granulometría y condiciones del agregado además de la técnica para el mezclado que se debe emplear en el mortero. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

Al elaborar las probetas de mortero se deben efectuar ensayos de resistencia a la compresión mediante la norma NTE INEN 488:2019, este mortero debe estar compuesto de los materiales y dosificación que van a ser utilizados en la construcción. El proceso de elaboración de las probetas para el mortero, así como su curado están contemplados en las normas NTE INEN 488:2009- ASTM C51. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

La norma NTE INE 696:2011 estipula el procedimiento de ensayo para determinar la repartición granulométrica de las partículas de áridos, finos y gruesos, por tamizado. La norma NTE INE 1501:2011 estipula el procedimiento para muestras y ensayos de hormigón reciclado y ceniza volcánica para su uso en hormigones de cemento portland, nos guiaremos con la norma ASTM C 618:2018/ UNE 83.414/90, las que estipulan las condiciones para las cenizas a emplear en hormigones y mortero. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

La norma NTE INE 1806:2010 establece los requerimientos que debe obedecer el cemento para mampostería. La norma NTE INE 155:2009 estipula los métodos del mezclado de pastas y morteros con cemento hidráulico de consistencia plástica. La norma NTE INEN 856:2010 estipula el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido fino, como lo es la arena que será base en el proyecto. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

La norma NTE INEN 156:2009 estipula los procedimientos de ensayo para determinar la densidad hidráulica mediante el método del frasco volumétrico de la chatelier. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

La norma ASTM C1324:15 establece los ensayos y análisis del mortero de mampostería en estado endurecido. La norma ASTM C 518:15 establece los procedimientos para determinación de la resistencia a la adherencia Flexural de la Mampostería. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2010)

2.4.4.1 Normas a utilizar:

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152 Cemento portland.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 248 Cal viva para construcción.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490 Cementos hidráulicos compuestos.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856 Árido fino para hormigón.

Determinación de la densidad y absorción de agua. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 806 Cemento para mampostería.

Norma ASTM C 144 Especificaciones para áridos para morteros para mampostería.

Norma ASTM C 780 Norma para la evaluación de morteros de preconstrucción y construcción para unidades de mampostería simples y reforzadas.

Norma ASTM C 952 Norma para la resistencia a la adherencia del mortero a las unidades de mampostería.

Norma ASTM C 1 072

Norma para la medición de la resistencia a la adherencia por flexión de mampostería.

Norma ASTM C 1 093

Norma para la acreditación de agencias de ensayos para mampostería.

Norma ASTM C 1 180 Terminología para morteros y grout para las unidades de mampostería.

Norma ASTM C 1 232 Terminología para Mampostería.

Norma ASTM C 1 324 Norma para la evaluación y análisis de morteros para mampostería endurecidos.

Norma ASTM C 1 329 Especificación para cemento para mortero.

Norma ASTM C 1 357 Norma para evaluar la resistencia a la adherencia en mampostería.

Se utiliza la NTE INEN para realizar bajo estas especificaciones técnicas la elaboración de un mortero para que este cumpla con los estándares establecidos y así cumplir con los objetivos planteados en esta investigación desarrollando una viabilidad técnica para mejorar la calidad de sus habitantes.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

En este capítulo, se detallan los métodos y procesos que se emplearán para el desarrollo del proyecto, con un enfoque exclusivamente cuantitativo. El estudio se centrará en la evaluación precisa y medible de la composición de los materiales que conforman una llanta, así como en la correlación entre estas composiciones y el rendimiento de las llantas en distintas condiciones de uso.

A través de ensayos cuantitativos, se obtendrán datos numéricos rigurosos que permitirán realizar análisis estadísticos, necesarios para identificar patrones y tendencias en la composición material de las llantas y su impacto en la durabilidad, seguridad y eficiencia.

Los ensayos cuantitativos se llevarán a cabo mediante una serie de pruebas controladas en laboratorio. Estas pruebas incluirán la medición de porcentajes de componentes como caucho natural, caucho sintético, negro de humo, tejidos, alambre, entre otros, utilizando técnicas como espectroscopía, análisis térmico, y pruebas de resistencia mecánica. Cada componente será evaluado en términos de su contribución específica al rendimiento global de la llanta, mediante la recopilación de datos precisos que se analizarán estadísticamente para determinar su significancia y relevancia.

El enfoque cuantitativo de esta investigación proporcionará una base sólida para el análisis de los datos recopilados, permitiendo la generación de conclusiones basadas en evidencia empírica. A través de la utilización de métodos estadísticos, se podrán realizar inferencias sobre la relación entre la composición de los materiales y las propiedades funcionales de las llantas, como su resistencia al desgaste, adherencia al pavimento, y capacidad de absorción de impactos.

Los resultados obtenidos permitirán no solo validar las hipótesis planteadas, sino también ofrecer recomendaciones fundamentadas para la optimización de la composición de las llantas, mejorando así su desempeño en distintas aplicaciones industriales.

3.2. Alcance de la investigación

El proyecto se basará en dos tipos de investigación fundamentales: la investigación exploratoria y la investigación experimental. Estos enfoques nos permitirán no solo abordar el problema desde una perspectiva amplia y flexible, sino también implementar soluciones precisas y efectivas a los inconvenientes que puedan surgir durante el proceso de desarrollo.

Investigación Exploratoria

La investigación exploratoria tiene como objetivo proporcionar una comprensión inicial del problema mediante el uso de diversos métodos y técnicas cuantitativas. Este enfoque nos permitirá observar el fenómeno de manera cercana, facilitando la identificación de patrones y tendencias que puedan no ser evidentes en estudios más estructurados. En el contexto de este proyecto, se realizarán encuestas y entrevistas a comunidades locales para obtener información relevante sobre el problema. La información recopilada será analizada y descompuesta textualmente, lo que permitirá un entendimiento más profundo del contexto y de los factores subyacentes que afectan el desarrollo del mortero como aislante acústico.

Investigación Experimental

La investigación experimental se centrará en la identificación y análisis de las causas y motivos de los factores que podrían generar complicaciones en el desarrollo del mortero. A través de la implementación de métodos rigurosos y controlados, este tipo de investigación permitirá probar y verificar hipótesis específicas relacionadas con el

comportamiento del mortero como aislante acústico. El proceso experimental involucrará la creación y prueba de distintas formulaciones de mortero en un entorno controlado, evaluando su efectividad en la reducción del ruido. Cada resultado obtenido será analizado meticulosamente para asegurar su validez, y se harán ajustes en los experimentos según sea necesario para optimizar la formulación final del mortero.

En conjunto, estos enfoques de investigación exploratoria y experimental proporcionarán una base sólida para abordar el problema de manera integral, asegurando que las soluciones propuestas estén respaldadas por datos empíricos y análisis detallados. Esto permitirá no solo comprender el problema en su totalidad, sino también desarrollar un mortero aislante acústico que sea efectivo y adaptable a las necesidades específicas del entorno urbano.

3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos

Técnicas de Recolección de Datos

Para alcanzar los objetivos establecidos en esta investigación, se implementarán diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos que permitan un análisis exhaustivo de las propiedades del mortero formulado con caucho reciclado y cascarillas de arroz. Estas técnicas se enfocarán en obtener datos precisos y relevantes que faciliten el desarrollo de una formulación óptima, la evaluación de su viabilidad económica-técnica, y la realización de un estudio comparativo con materiales tradicionales de aislamiento acústico.

Observación Directa

La observación directa será una herramienta clave en la fase experimental del proyecto. Esta técnica permitirá monitorear de manera continua y detallada el comportamiento de las diferentes formulaciones de mortero durante los ensayos. Se elaborará una lista de observación específica para registrar cómo las proporciones de caucho reciclado y cascarillas de arroz afectan las propiedades mecánicas (como la resistencia a la compresión) y acústicas (como la absorción sonora) del mortero.

Durante esta fase, el investigador participará activamente en el proceso, tomando notas sobre las reacciones del mortero en condiciones controladas y reales, lo que

permitirá identificar patrones de comportamiento y ajustar las formulaciones según sea necesario.

Además, se registrará la interacción del mortero con el entorno urbano en pruebas de campo, observando su desempeño en términos de durabilidad y efectividad acústica cuando se aplica en infraestructuras urbanas. Esto permitirá obtener una visión holística del potencial del mortero reciclado en situaciones reales, y facilitará la identificación de mejoras en su composición para optimizar su rendimiento.

Ensayos Experimentales

Para desarrollar la formulación óptima del mortero y evaluar su viabilidad y comparabilidad con materiales tradicionales, se llevarán a cabo una serie de ensayos experimentales en laboratorio. Estos ensayos se centrarán en analizar tanto las propiedades mecánicas como las acústicas del mortero reciclado, así como en evaluar su viabilidad económica-técnica:

- **Ensayo de Formulación y Mezcla:** Se realizarán pruebas con diferentes proporciones de caucho reciclado y cascarillas de arroz para determinar la mezcla que proporcione el mejor equilibrio entre propiedades mecánicas y acústicas. Se utilizarán balanzas de alta precisión y mezcladoras especializadas para asegurar la consistencia y homogeneidad de cada formulación.
- **Ensayo de Resistencia a la Compresión:** Este ensayo permitirá evaluar la capacidad del mortero para soportar cargas, una propiedad crucial para su aplicación en infraestructuras urbanas. La resistencia a la compresión se medirá utilizando prensas hidráulicas, y los resultados ayudarán a identificar la formulación que ofrece la mayor durabilidad sin comprometer las propiedades acústicas.
- **Ensayo de Aislamiento Acústico:** Se utilizarán cámaras acústicas para medir la capacidad del mortero de reducir la transmisión del sonido. Este ensayo es fundamental para comparar el rendimiento del mortero reciclado con materiales tradicionales de aislamiento acústico, evaluando su efectividad en entornos urbanos ruidosos.
- **Ensayo de Absorción y Densidad:** Este ensayo evaluará la capacidad del mortero para absorber agua y su densidad general, factores que afectan tanto su

durabilidad como su eficacia como aislante acústico. Se utilizarán pruebas de inmersión y secado para medir la absorción, y densímetros para calcular la densidad de cada formulación.

- **Estudio de Viabilidad Económica-Técnica:** Paralelamente a los ensayos técnicos, se llevará a cabo un análisis económico-técnico de la producción y aplicación del mortero reciclado. Esto incluirá la evaluación de costos de materiales, procesos de fabricación, y la comparación de estos con los costos asociados a los materiales tradicionales de aislamiento acústico. Se utilizarán herramientas de análisis de costos y beneficios para determinar la viabilidad de la producción en masa y su implementación en proyectos de infraestructura urbana.
- **Estudio Comparativo:** Finalmente, se realizará un estudio comparativo entre el mortero desarrollado y los materiales tradicionales utilizados para el aislamiento acústico. Este estudio incluirá la evaluación de propiedades acústicas, durabilidad, y costo-efectividad. Se utilizarán tablas comparativas y gráficos para visualizar las diferencias y beneficios potenciales del mortero reciclado.

Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos en esta investigación, se utilizarán varios instrumentos diseñados para capturar tanto las características cuantitativas como cualitativas del mortero desarrollado con caucho reciclado y cascarillas de arroz. Estos instrumentos permitirán obtener datos precisos y detallados sobre las propiedades mecánicas, acústicas y económicas del material, que serán esenciales para alcanzar los objetivos planteados.

1. **Balanzas de Alta Precisión:** Utilizadas para medir las proporciones exactas de los componentes (caucho reciclado, cascarillas de arroz, cemento, etc.) en las formulaciones del mortero. Este instrumento es esencial para asegurar la homogeneidad y repetibilidad en las mezclas.
2. **Prensas Hidráulicas:** Empleadas para realizar ensayos de resistencia a la compresión. Las prensas medirán la fuerza que el mortero puede soportar antes de fallar, proporcionando datos clave sobre su capacidad para ser utilizado en aplicaciones estructurales.

3. **Cámaras Acústicas:** Estas cámaras se utilizarán para medir la capacidad del mortero para aislar el sonido. Se registrarán datos sobre la reducción de decibelios cuando el mortero se aplica en estructuras simuladas, comparándolo con materiales acústicos tradicionales.
4. **Densímetros:** Instrumentos utilizados para medir la densidad del mortero, un factor que afecta tanto su durabilidad como su capacidad de aislamiento acústico. La densidad se calculará en diferentes formulaciones para identificar la mezcla más eficiente.
5. **Equipos de Medición de Absorción de Agua:** Se utilizarán equipos específicos para medir la capacidad del mortero de absorber agua, lo cual es crítico para evaluar su comportamiento en condiciones húmedas y su durabilidad a largo plazo.
6. **Software de Análisis de Datos:** Se utilizarán herramientas de software para analizar los datos recolectados, generar gráficos comparativos, y realizar análisis estadísticos avanzados. Esto incluye software para análisis económico-técnico, que permitirá evaluar la viabilidad de la producción del mortero reciclado.

Procedimientos de Recolección de Datos

Los procedimientos de recolección de datos se llevarán a cabo en varias etapas, cada una diseñada para abordar diferentes aspectos del proyecto y asegurar la integridad y precisión de los datos obtenidos.

1. Preparación de Formulaciones:

- Se desarrollarán diferentes formulaciones del mortero utilizando distintas proporciones de caucho reciclado y cascarillas de arroz.
- Cada mezcla será cuidadosamente pesada y medida utilizando balanzas de alta precisión para garantizar la exactitud de las proporciones.

2. Realización de Ensayos Mecánicos:

- Se llevarán a cabo ensayos de resistencia a la compresión en un laboratorio utilizando prensas hidráulicas.
- Las muestras de mortero se someterán a fuerzas compresivas crecientes hasta el punto de falla, y se registrarán las fuerzas máximas soportadas.

- Los resultados se documentarán y se analizarán para identificar la formulación que ofrezca la mejor resistencia.

3. Evaluación de Propiedades Acústicas:

- Las cámaras acústicas se utilizarán para medir la capacidad de aislamiento sonoro del mortero.
- Se simularán diferentes entornos urbanos en las cámaras, aplicando el mortero en paredes y otras estructuras. Se medirán los niveles de reducción de ruido y se compararán con los de materiales acústicos tradicionales.
- Los datos obtenidos se registrarán y analizarán para determinar la efectividad acústica de cada formulación.

4. Medición de Absorción y Densidad:

- Se realizarán ensayos de absorción de agua y mediciones de densidad para evaluar la durabilidad y la idoneidad del mortero para su uso en condiciones húmedas.
- Los procedimientos incluirán la inmersión de las muestras en agua y la medición de la cantidad de agua absorbida, seguida por un análisis de su densidad mediante densímetros.
- Estos datos ayudarán a identificar las formulaciones que mejor combinen resistencia, durabilidad y capacidad de aislamiento acústico.

5. Análisis Económico-Técnico:

- Paralelamente a los ensayos de laboratorio, se realizará un análisis detallado de los costos asociados a la producción y aplicación del mortero reciclado.
- Este análisis incluirá la comparación de costos de materiales, procesos de producción, y mano de obra con los de los materiales acústicos tradicionales.
- Se utilizarán herramientas de software para realizar simulaciones y generar proyecciones sobre la viabilidad económica del proyecto.

6. Estudio Comparativo:

- Finalmente, se realizará un estudio comparativo que incluirá todas las propiedades evaluadas (mecánicas, acústicas, y de durabilidad), contrastando el mortero reciclado con materiales tradicionales.
- Se generarán tablas y gráficos comparativos que permitirán visualizar las diferencias y ventajas potenciales del mortero reciclado.
- Estos resultados serán fundamentales para formular conclusiones y recomendaciones para la aplicación del mortero en infraestructuras urbanas.

3.4. Población y muestra

Población

El término población, en el contexto de esta investigación, hace referencia al conjunto de viviendas ubicadas en zonas urbanas afectadas por altos niveles de ruido, particularmente en áreas céntricas donde el tráfico de autobuses y otros vehículos pesados es constante. En este proyecto, se ha decidido focalizar la investigación en la parroquia Tarqui, un área representativa dentro de una ciudad que enfrenta desafíos significativos en términos de contaminación acústica.

La población objetivo de este estudio incluye las edificaciones residenciales en la parroquia Tarqui que sufren de manera directa los efectos negativos del ruido ambiental. Este entorno urbano se selecciona por su relevancia en la problemática que se pretende abordar: la mejora del aislamiento acústico mediante la implementación de un mortero innovador que incorpora caucho reciclado y cascarilla de arroz. Este mortero se comparará con el mortero tradicional, cuya dosificación estándar es de 1 parte de cemento por 2 partes de arena. Cabe destacar que un exceso de cemento en el mortero tradicional puede incrementar el riesgo de fisuración, retracciones durante el fraguado, y una baja adherencia, problemas que se buscarán mitigar con la nueva formulación.

Muestra

Para evaluar la efectividad del mortero reciclado propuesto, se elaborarán cinco muestras diferentes, cada una con una formulación específica. Cuatro de estas muestras incorporarán los agregados innovadores (caucho reciclado y cascarilla de arroz), mientras que una muestra será de mortero tradicional para servir como referencia.

Las muestras se dosificarán de la siguiente manera:

1. **Muestra 1:** Mortero con una dosificación de 1 parte de cemento, 0.75 partes de arena, 0.75 parte de caucho reciclado y 0.5 parte de cascarilla de arroz.
2. **Muestra 2:** Mortero con una dosificación de 1 parte de cemento, 0.5 parte de arena, 1 parte de caucho reciclado y 0.5 parte de cascarilla de arroz.
3. **Muestra 3:** Mortero con una dosificación de 1 partes de cemento, 0.25 partes de arena, 1.25 parte de caucho reciclado y 0.5 parte de cascarilla de arroz.
4. **Muestra 4:** Mortero tradicional con una dosificación estándar de 1 parte de cemento y 2 partes de arena (sin agregados innovadores).

Para cada una de estas formulaciones, se prepararán tres prototipos de mortero. Estos prototipos serán sometidos a pruebas para evaluar tanto sus propiedades mecánicas como acústicas. Las pruebas incluirán ensayos de resistencia a la compresión, aislamiento acústico, absorción de agua, y durabilidad, permitiendo una comparación integral entre el mortero tradicional y las nuevas formulaciones. La selección de estas cinco muestras permitirá analizar el impacto de diferentes proporciones de agregados innovadores en el desempeño general del mortero, proporcionando una base sólida para determinar la formulación óptima para su uso en ambientes urbanos ruidosos.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1. Presentación y análisis de resultados

Tabla 9

Composición de las Diferentes Formulaciones de Mortero

| Muestra | Cemento (Partes) | Arena (Partes) | Caucho Reciclado (Partes) | Cascarilla de Arroz (Partes) |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|---|
| M1 (Tradicional) | 1 | 2 | 0 | 0 |
| M2 | 1 | 0.75 | 0.75 | 0.5 |
| M3 | 1 | 0.5 | 1 | 0.5 |
| M4 | 1 | 0.25 | 1.25 | 0.5 |

Nota: Datos ensayo de la composición del mortero

Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Análisis:

La tabla 9 muestra las diferentes formulaciones utilizadas en el experimento. M1 representa la formulación tradicional de mortero, mientras que M2, M3 y M4 son formulaciones experimentales que incluyen caucho reciclado y cascarilla de arroz en diferentes proporciones.

Tabla 10

Procedimiento General del Ensayo

| Paso | Descripción del Procedimiento |
|-------------|---|
| 1 | Preparación de moldes aplicando una capa de aceite para evitar adherencias. |
| 2 | Composición de las diferentes dosificaciones de mortero según la Tabla 1. |

- 3 Llenado de los moldes en capas, aplicando un total de 32 golpes con el apisonador por capa.
- 4 Almacenamiento de las muestras, desencofrado y sumergido en agua tras el fraguado.

Nota: Descripción del proceso para la composición del mortero

Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

La tabla 10 describe los pasos seguidos para preparar y probar las muestras de mortero. Estos procedimientos aseguran que las muestras sean tratadas de manera consistente para obtener resultados comparables.

Figura 3

Selección de agregados, caucho y cascara de arroz



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 4

Preparación de la mezcla



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 5

Adición de agregados a mezcla



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 6

Llenado de moldes



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 7

Pesado de las muestras



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 8

Calibrado de los equipos



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 9

Preparación de la muestra para prueba de resistencia



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 10

Prueba de resistencia



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Tabla 11

Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión (Mpa)

| Muestra | Peso (g) | (Mpa) |
|-------------------------|-----------------|--------------|
| M1 (Tradicional) | 262.2 | 19.54 |
| M2 | 209 | 2.54 |
| M3 | 202.7 | 2.09 |
| M4 | 197.6 | 2.01 |

Nota: Descripción del proceso para la composición del mortero

Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

La tabla 11 se presenta los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión. El mortero tradicional (M1) mostró una resistencia significativamente mayor en comparación con las formulaciones experimentales. Las muestras M2, M3 y M4, que

incluyen materiales reciclados, mostraron menores valores de resistencia a la compresión, lo que sugiere que la adición de caucho y cascarilla de arroz puede debilitar la estructura del mortero, aunque estos valores aún deben ser analizados en función de su capacidad de aislamiento acústico y otros factores.

Tabla 12

Análisis de Costos de Producción

| Concepto | M1 (Tradicional) | M4 (Modificado) | Diferencia (M4 vs M1) |
|--|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Costo de Materiales (USD/m³) | 50 | 38 | -12 |
| Costo de Mano de Obra (USD/m³) | 30 | 28 | -2 |
| Costo de Energía (USD/m³) | 20 | 27 | +7 |
| Costo de Transporte (USD/m³) | 10 | 10 | 0 |
| Costo de Maquinaria (USD/m³) | 15 | 15 | 0 |
| Costo Total (USD/m³) | 125 | 118 | -7 |
| Porcentaje de Ahorro (%) | 0% | 5.6% | N/A |

Nota: Descripción de los costos del proceso de producción

Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

El análisis comparativo entre el mortero tradicional (M1) y el mortero modificado (M4) revela que el uso de M4 resulta en un ahorro total de USD 7/m³, lo que equivale a un 5.6% de reducción en los costos de producción. Aunque M4 presenta un incremento en el costo de energía de USD 7/m³, esto se ve compensado por reducciones significativas en los costos de materiales (USD 12/m³) y mano de obra (USD 2/m³).

Tabla 13*Análisis de Viabilidad Técnica*

| Aspecto Evaluado | Resultado | Observaciones | Riesgos Asociados | Soluciones Propuestas |
|--------------------------------------|------------------|---|--|---|
| Facilidad de Aplicación | Adecuada | Compatible con técnicas actuales de construcción | Tiempo de secado | Uso de aditivos para acelerar el fraguado |
| Adaptabilidad a Diseños | Moderada | Requiere ajustes menores en las proporciones de mezcla | Necesidad de pruebas adicionales | Ajuste de las proporciones y nueva evaluación |
| Mantenimiento Requerido | Bajo | Bajo costo de mantenimiento, similar a materiales tradicionales | Ninguno significativo | No se requiere |
| Durabilidad Estimada (años) | 20 | Similar a los materiales tradicionales en condiciones urbanas | Exposición a condiciones extremas | Mejorar la formulación para mayor durabilidad |
| Impacto Ambiental del Proceso | Positivo | Reduce la cantidad de residuos de caucho y cascarilla | Dependencia de la disponibilidad de residuos | Creación de alianzas con proveedores |

Nota: Diversos aspectos técnicos de la implementación del mortero reciclado

Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Se analizan la facilidad de aplicación, la adaptabilidad a diseños arquitectónicos, el mantenimiento requerido, la durabilidad estimada y el impacto ambiental. Los resultados son en su mayoría positivos, con algunas consideraciones sobre la necesidad de ajustes menores en las proporciones de mezcla y el tiempo de secado, para los cuales se proponen soluciones como el uso de aditivos y la realización de pruebas adicionales. El impacto ambiental es considerado positivo, debido a la reducción de residuos mediante el uso de caucho reciclado y cascarilla de arroz.

4.2. Pruebas de resistencia

Tabla 14

Resistencia a la Compresión - Día 3

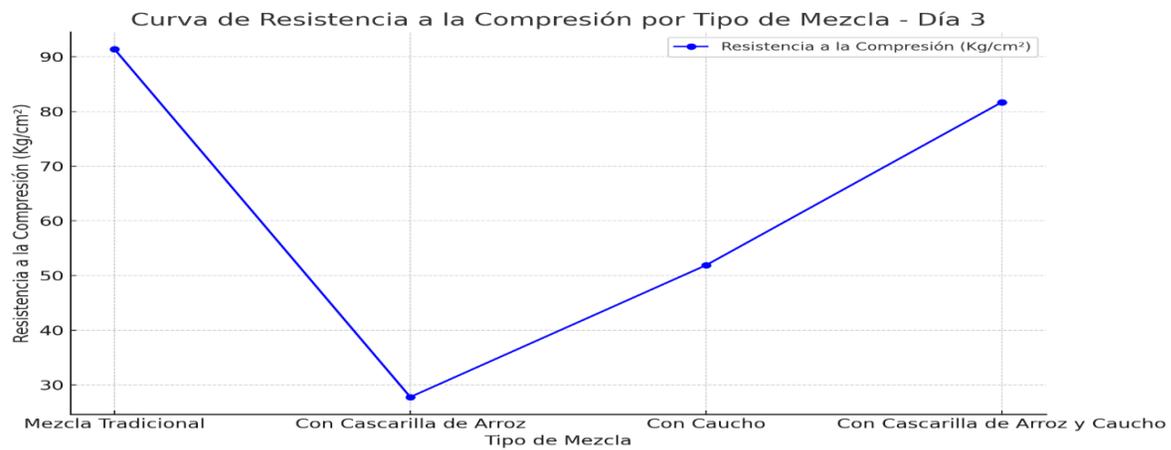
| Tipo de Mezcla | Resistencia a la Compresión (Kg/cm²) | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------|--|-----------------------|
| Mezcla Tradicional | 91.4 | 44% |
| Con Cascarilla de Arroz | 27.8 | 13% |
| Con Caucho | 51.9 | 25% |
| Con cascara de arroz y caucho | 81.7 | 39% |

Nota: esta tabla describe los diversos tipos de resistencia de la muestra a los 3 días

Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 11

Resistencia a la Compresión - Día 3



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024)

El análisis de la resistencia a la compresión de las diferentes mezclas de hormigón muestra una evolución significativa entre los días 3, 21 y 28. En el día 3, la mezcla tradicional exhibe la mayor resistencia a la compresión con 91.4 Kg/cm², lo que representa el 44% de su resistencia final. Por otro lado, las mezclas con cascarilla de arroz, caucho, y la combinación de ambos muestran resistencias significativamente menores, con un rendimiento que varía entre el 13% y el 39% de su capacidad total.

Tabla 15

Resistencia a la Compresión - Día 21

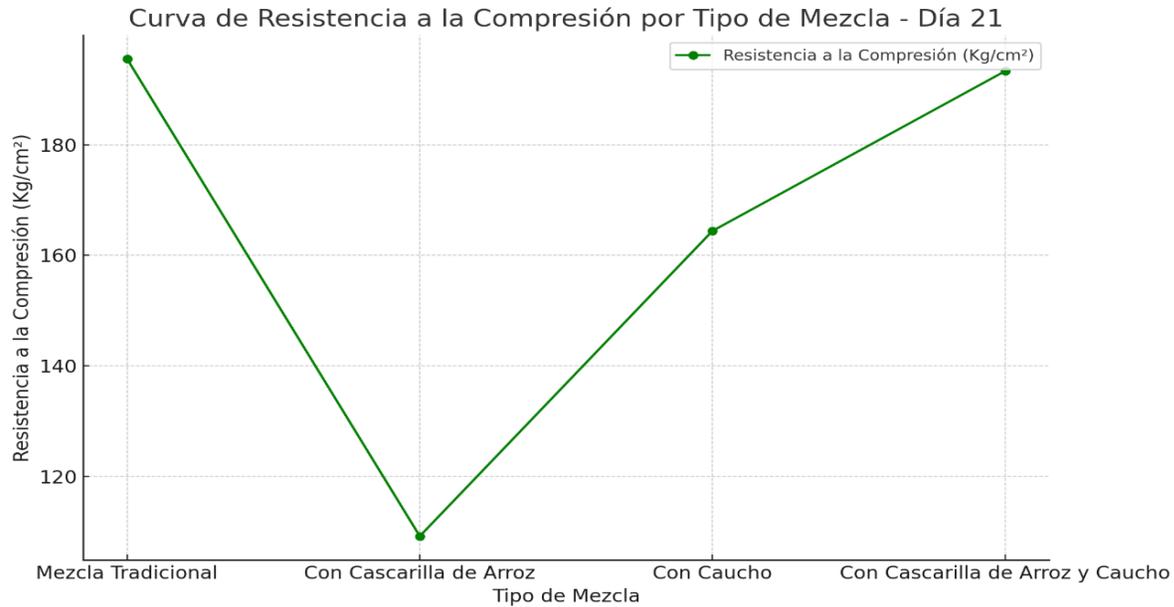
| Tipo de Mezcla | Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²) | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------|---|----------------|
| Mezcla Tradicional | 195.5 | 93% |
| Con Cascarilla de Arroz | 109.2 | 52% |
| Con Caucho | 164.4 | 78% |
| Con cascara de arroz y caucho | 193.3 | 92% |

Nota: esta tabla describe los diversos tipos de resistencia de la muestra a los 21 días

Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 12

Resistencia a la Compresión - Día 21



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Para el día 21, todas las mezclas muestran un incremento notable en su resistencia a la compresión. La mezcla tradicional alcanza el 93% de su capacidad total, mientras que la mezcla con cascarilla de arroz y caucho combinados casi iguala esta resistencia con un 92%. Las mezclas individuales de cascarilla de arroz y caucho también mejoran significativamente, alcanzando el 52% y 78% de su capacidad, respectivamente.

Resistencia a la Compresión - Día 28

Tabla 16

Resistencia a la Compresión - Día 28

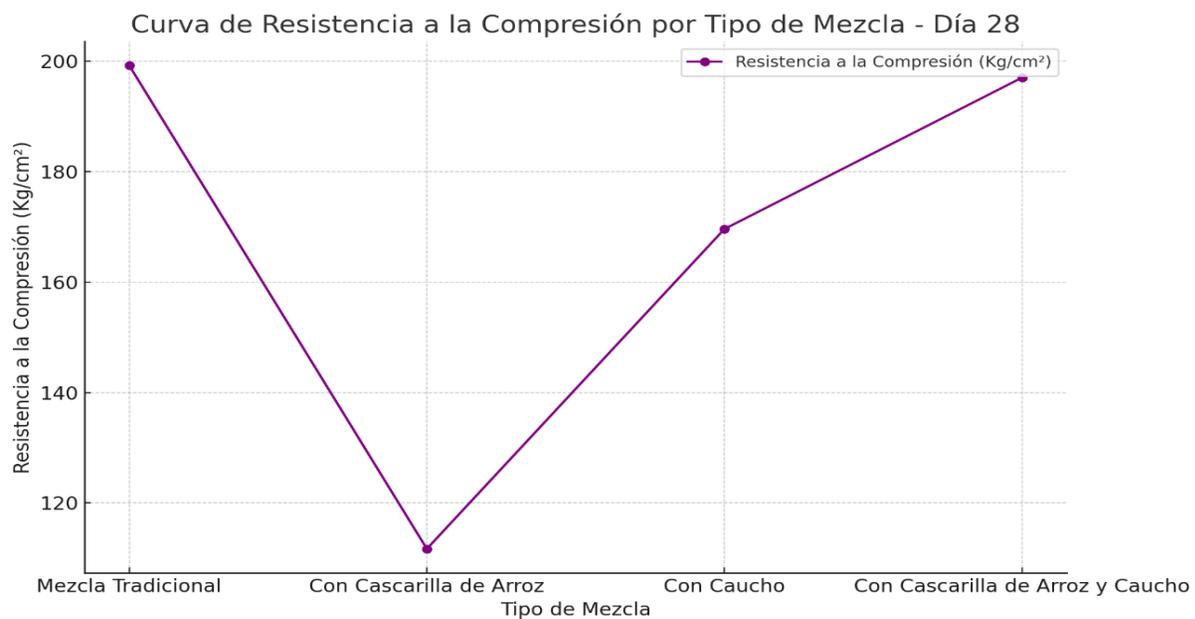
| Tipo de Mezcla | Resistencia a la Compresión (Kg/cm²) | Porcentaje (%) |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Mezcla Tradicional | 199.2 | 95% |
| Con Cascarilla de Arroz | 111.7 | 53% |

| | | |
|--------------------------------------|-------|-----|
| Con Caucho | 169.6 | 81% |
| Con cascara de arroz y caucho | 197.0 | 94% |

Nota: esta tabla describe los diversos tipos de resistencia de la muestra a los 28 días
 Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Figura 13

Resistencia a la Compresión - Día 28



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

Finalmente, en el día 28, la mezcla tradicional casi alcanza su resistencia máxima con 199.2 Kg/cm² (95%), mientras que la mezcla con cascara de arroz y caucho combinados se mantiene cerca con 197.0 Kg/cm² (94%). La mezcla con caucho muestra un desempeño robusto con 81% de su resistencia total, mientras que la mezcla con cascara de arroz alcanza solo el 53%.

Figura 14

Preparando sonómetro para ensayo



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

La figura 14 muestra el proceso de preparación de un sonómetro antes de realizar un ensayo de medición de ruido en un entorno controlado, como un laboratorio o taller. El sonómetro es un instrumento de precisión utilizado para medir niveles de presión sonora en decibelios (dB). En la imagen, una persona está sosteniendo el dispositivo, asegurándose de que esté calibrado y listo para capturar datos precisos durante el ensayo. Este paso es crucial para obtener mediciones fiables que puedan ser utilizadas para análisis de ruido ambiental, evaluación de cumplimiento de normas de sonido, o estudios de acústica en diferentes contextos.

Figura 15

Colocando S1 cerca de parlante para comprobar los decibeles



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

En la imagen se muestra un sonómetro modelo CENTER 390, colocado cerca de un parlante durante una prueba de medición de decibeles. El objetivo de esta disposición es verificar el nivel de presión sonora generado por el parlante y asegurarse de que el sonómetro esté midiendo con precisión. El dispositivo se encuentra encendido, con su pantalla mostrando una lectura de decibeles, lo que indica que está capturando el nivel de ruido emitido por el parlante. Esta configuración es típica en pruebas de acústica, donde se busca evaluar la intensidad del sonido y la calidad del equipo de medición.

Figura 16

Ensayo sin recubrimiento colocando el sonómetro S2 dentro de caja



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

En la figura 16 se coloca el sonómetro S2 dentro de una caja en un entorno sin recubrimiento acústico, con el objetivo de medir el nivel de ruido y la propagación del sonido sin la influencia de materiales de aislamiento. Según los datos proporcionados, esta prueba podría estar relacionada con la toma de la cámara reverberante sin aislamiento, realizada entre las 12:03 y las 12:13. La distancia del micrófono al parlante es de 10 cm, mientras que la distancia del parlante al micrófono dentro de la cámara reverberante es de 130 cm.

El sonómetro S2 está posicionado estratégicamente dentro de la caja para capturar los niveles de presión sonora en un entorno que simula condiciones reales de propagación de sonido. Este tipo de ensayo es fundamental para evaluar la efectividad de futuros recubrimientos acústicos y comparar el comportamiento del sonido con y sin aislamiento.

Figura 17

Colocando paneles para 2do ensayo utilizando el mortero



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

La figura 17 En esta imagen se muestra la preparación del segundo ensayo acústico, en el que se están colocando paneles que utilizan mortero como material de recubrimiento. La caja, que aparece abierta en el centro de la imagen, está parcialmente revestida con un material de mortero en sus paredes interiores, indicando que se está preparando para un ensayo acústico. Este ensayo podría estar relacionado con la toma de datos entre las 12:36 y las 12:46, donde se usó un mortero aislante acústico.

El uso de estos paneles de mortero permite evaluar la efectividad del material como aislante acústico, comparando la propagación del sonido con respecto a pruebas previas sin recubrimiento. Este tipo de ensayo es fundamental para determinar cómo el mortero afecta la absorción y reflexión del sonido en un entorno controlado.

Figura 18

Se coloca el sonómetro S2 dentro de caja y preparándolo para ensayo con la variante del mortero con nueva dosificación



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

En la figura 18 se observa el sonómetro S2 colocado dentro de una caja recubierta con mortero, preparándose para un ensayo acústico que incorpora una nueva dosificación del mortero. Este ensayo busca evaluar cómo la nueva mezcla del mortero afecta la absorción y propagación del sonido dentro del espacio confinado. El dispositivo S2 se posiciona en el centro de la caja para captar con precisión los niveles de presión sonora durante el ensayo. Esta prueba es crucial para analizar la efectividad del nuevo mortero como material aislante y compararlo con los resultados obtenidos en ensayos previos con diferentes dosificaciones o sin recubrimiento.

Figura 19

Descarga de información obtenida



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

La figura 19 muestra a dos personas en un laboratorio mientras descargan la información obtenida de los ensayos acústicos. Una de las personas está utilizando una computadora portátil conectada a un dispositivo, posiblemente el sonómetro utilizado en los ensayos, para transferir los datos recopilados durante las pruebas. En el entorno, se observan bolsas de materiales y equipos de laboratorio, lo que sugiere que el trabajo se

lleva a cabo en un ambiente de investigación. Este paso es crucial para el análisis posterior de los datos, donde se evaluarán los resultados obtenidos de las mediciones de sonido en diferentes condiciones y configuraciones, como los ensayos sin recubrimiento y con diferentes dosificaciones de mortero.

Figura 20

Cerrando caja con sonómetro S2 dentro para iniciar ensayo



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

En la figura 20 se observa a un investigador cerrando la caja que contiene el sonómetro S2, preparándola para el inicio de un ensayo acústico. La caja parece estar diseñada para contener materiales y crear un entorno controlado, permitiendo mediciones precisas de los niveles de ruido en diferentes condiciones de aislamiento. Este paso es crucial para asegurar que el sonómetro esté correctamente sellado y

posicionado, de manera que pueda captar con precisión las variaciones de sonido durante el ensayo.

El cierre adecuado de la caja asegura que no haya interferencias externas que puedan afectar los resultados, permitiendo un análisis más fiable de la efectividad de los materiales acústicos utilizados, como en el caso de las pruebas anteriores con mortero y otras variantes de aislamiento.

4.3. Estadísticas

Tabla 17

Estadística de la prueba acústica

| Variable | N | Error estándar de la | | Desv.Est. | CoefVar | Mínimo | Mediana | Máximo |
|-------------|-----|----------------------|-------|-----------|---------|--------|---------|--------|
| | | Media | media | | | | | |
| INT-LAB | 110 | 91,633 | 0,244 | 2,555 | 2,79 | 82,100 | 92,500 | 94,600 |
| EXT-LAB | 110 | 76,486 | 0,343 | 3,596 | 4,70 | 62,100 | 77,700 | 82,900 |
| EXT-FUENTE | 110 | 108,41 | 0,451 | 4,73 | 4,36 | 86,50 | 110,25 | 114,30 |
| INTC-SINAIS | 110 | 84,557 | 0,526 | 5,519 | 6,53 | 63,200 | 85,500 | 93,300 |
| INTC-AIS1 | 110 | 81,125 | 0,414 | 4,347 | 5,36 | 70,300 | 80,750 | 89,500 |
| INTC-AIS2 | 110 | 78,659 | 0,461 | 4,835 | 6,15 | 59,400 | 79,600 | 85,800 |

Nota: análisis estadístico de la prueba acústica

Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

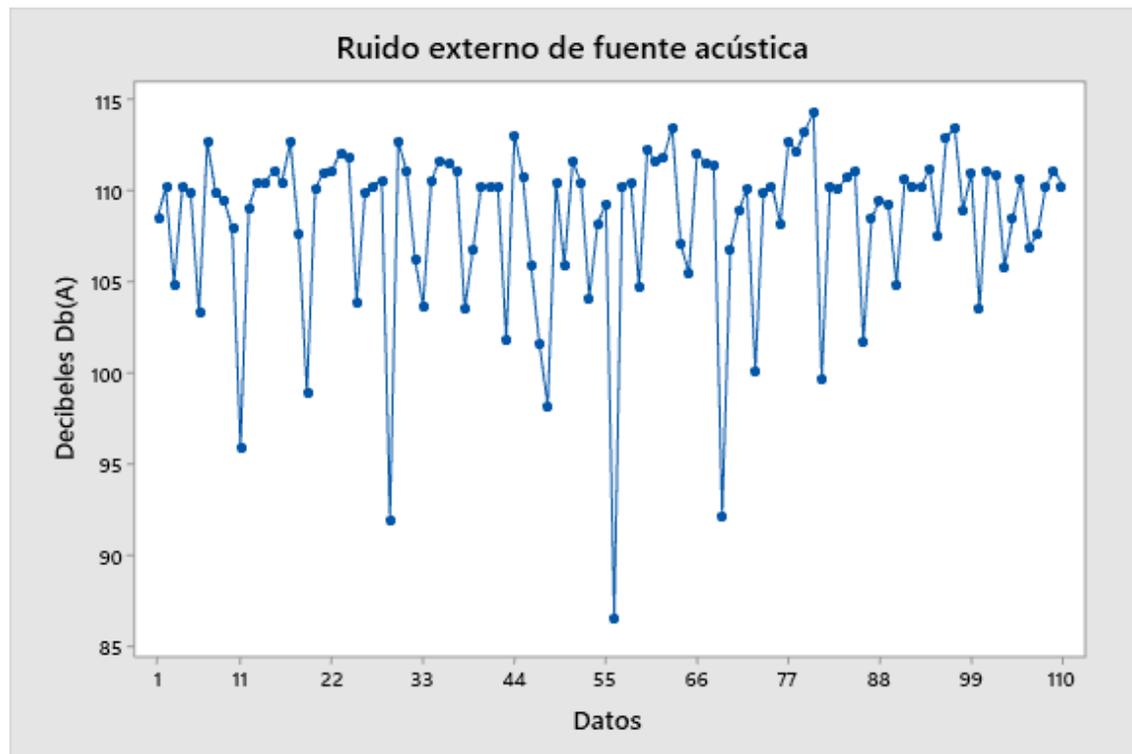
El análisis estadístico de las diferentes variables relacionadas con los niveles de ruido revela contrastes significativos en la dispersión y concentración de los datos, lo que permite evaluar la efectividad de distintos tratamientos acústicos. INT-LAB presenta una media de 91,633 dB(A) con baja variabilidad, reflejada en su coeficiente de variación de 2,79, lo que indica que los datos están bastante concentrados alrededor de la media, con un rango de valores que oscila entre 82,100 y 94,600 dB(A). En contraste, EXT-LAB muestra una mayor dispersión, con una desviación estándar de 3,596 y un coeficiente

de variación de 4,70, sugiriendo una variabilidad mayor en las condiciones de ruido externo.

EXT-FUENTE, que tiene la media más alta de 108,41 dB(A), confirma su papel como la fuente de ruido más intensa, con cierta dispersión en los datos, como lo refleja su desviación estándar de 4,73. Por otro lado, INTC-SINAIS exhibe la mayor variabilidad entre los revestimientos, con un coeficiente de variación de 6,53 y un rango de valores entre 63,200 y 93,300 dB(A), lo que indica una atenuación del ruido menos consistente. En comparación, INTC-AIS1 y INTC-AIS2 presentan una dispersión moderada, siendo INTC-AIS2 ligeramente más consistente en la atenuación del ruido, aunque ambas variables muestran un desempeño aceptable en la reducción del ruido en comparación con la fuente externa. Estas estadísticas subrayan la importancia de la consistencia en la atenuación del ruido para garantizar un ambiente acústico controlado.

Figura 21

Ruido externo de la fuente acústica

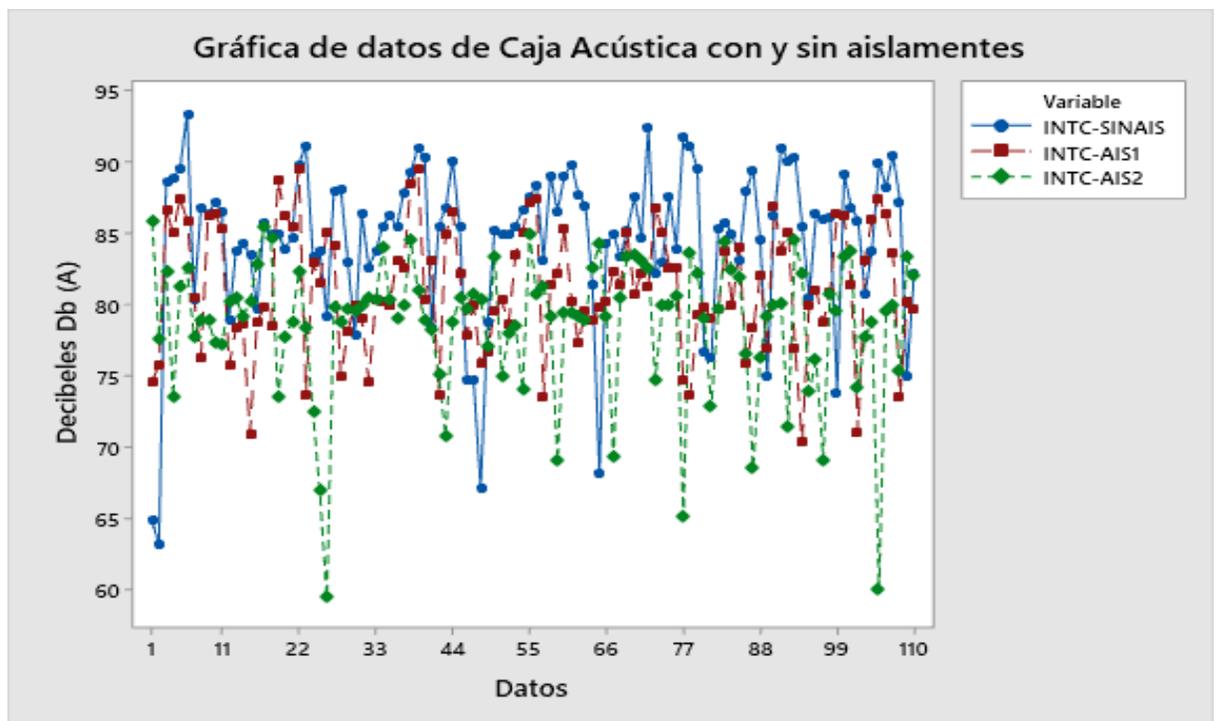


Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

El primer gráfico muestra la variabilidad del ruido externo de una fuente acústica medida en decibeles [dB(A)] a lo largo de 110 puntos de datos. Los niveles de ruido fluctúan principalmente entre 100 y 115 dB(A), con algunas caídas notables por debajo de 100 dB(A). Estas caídas podrían deberse a factores externos como cambios en las condiciones ambientales o interferencias durante la medición. En general, el gráfico refleja una fuente de ruido intensa y consistente, con picos frecuentes que alcanzan o superan los 110 dB(A).

Figura 22

Datos de prueba con aislantes



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

El segundo gráfico compara los niveles de ruido dentro de una caja acústica utilizando tres tipos de aislamientos distintos: INTC-SINAIS, INTC-AIS1, e INTC-AIS2. A

lo largo de los mismos 110 puntos de datos, se observa una mayor variabilidad en los niveles de ruido en comparación con la fuente externa.

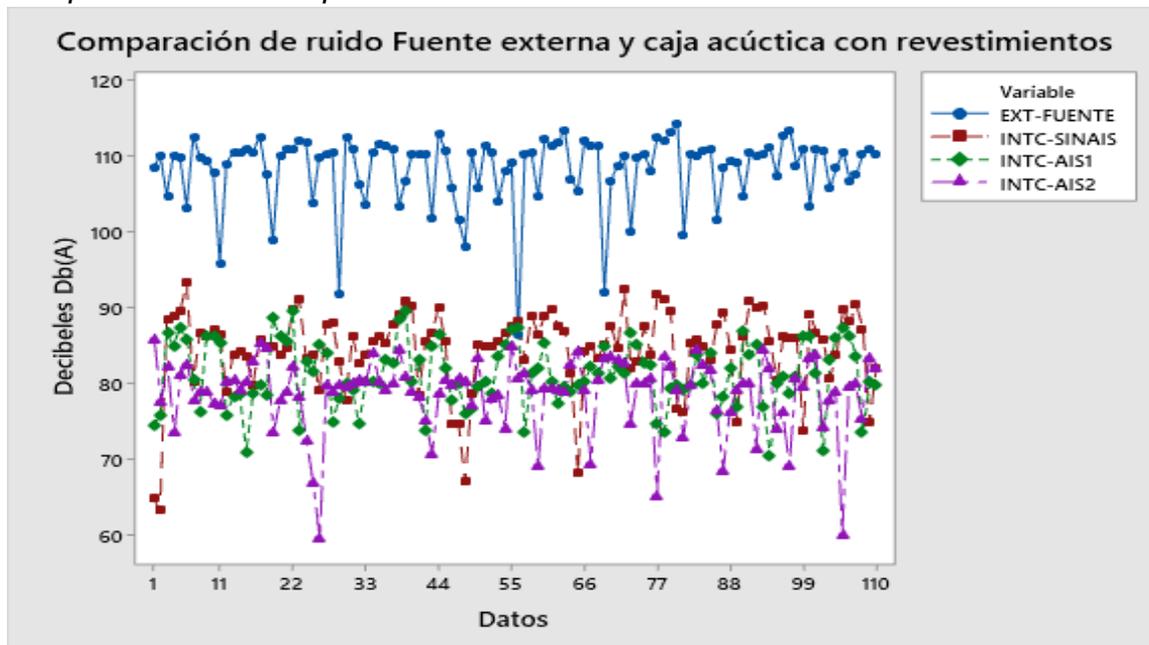
INTC-SINAIS (Línea Azul): Los niveles de ruido varían entre 75 y 90 dB(A), con picos que alcanzan valores cercanos a los 90 dB(A). Este aislamiento parece ser menos efectivo que los otros dos, ya que muestra valores de ruido más altos y menos consistencia.

INTC-AIS1 (Línea Roja): Este aislamiento presenta una variabilidad más controlada, con valores entre 70 y 85 dB(A). Es más efectivo en la reducción del ruido comparado con INTC-SINAIS, manteniendo los niveles de ruido más bajos y con menor fluctuación.

INTC-AIS2 (Línea Verde): Este es el aislamiento más efectivo, con los niveles de ruido más bajos entre 65 y 80 dB(A). La consistencia en la reducción del ruido es mayor, lo que sugiere que INTC-AIS2 proporciona la mejor atenuación acústica entre los tres aislamientos.

Figura 23

Comparación de ruido por fuentes



Elaborado por: Godoy & Olmedo, (2024).

El gráfico muestra una comparación de los niveles de ruido medidos en decibeles [dB(A)] entre una fuente externa y una caja acústica equipada con diferentes tipos de revestimientos. La variable que representa el ruido externo sin ningún tipo de mitigación (EXT-FUENTE) muestra consistentemente niveles elevados, que oscilan entre 100 y 115 dB(A). Esto establece una referencia clara de la intensidad del ruido antes de aplicar cualquier tratamiento acústico.

En contraste, los tres tipos de revestimientos aplicados en la caja acústica (INTC-SINAIS, INTC-AIS1 y INTC-AIS2) demuestran una reducción significativa en los niveles de ruido. El revestimiento representado por INTC-SINAIS reduce el ruido a un rango de 80 a 90 dB(A), aunque presenta cierta variabilidad, lo que sugiere una absorción acústica menos consistente. INTC-AIS1, por su parte, ofrece una mejor uniformidad en la atenuación del ruido, con niveles ligeramente más bajos y una menor fluctuación, situándose entre 75 y 90 dB(A).

Finalmente, INTC-AIS2 se destaca como el revestimiento más eficaz, logrando reducir el ruido a un rango de 70 a 85 dB(A). Este revestimiento no solo proporciona la mayor reducción en los niveles de ruido, sino que también lo hace de manera más uniforme y consistente, lo que lo convierte en la opción más efectiva de los tres para controlar el ruido en un entorno acústico.

Comparación con estudios previos

Tanto la investigación actual como los estudios previos, como el de Martillo García y Martínez Gómez (2020), destacan la integración de caucho reciclado en los morteros como una solución viable para mejorar el rendimiento técnico y abordar problemas ambientales, específicamente la reducción de la acumulación de neumáticos fuera de uso. En ambos casos, se subraya la capacidad del caucho para mejorar las propiedades acústicas y físicas del mortero, alineándose con los resultados obtenidos que muestran una mejora significativa en la resistencia a la compresión cuando el caucho se combina con cascarilla de arroz.

Los antecedentes y los resultados actuales coinciden en que los materiales reciclados, como el caucho y la cascarilla de arroz, pueden ser efectivos en la reducción

del ruido. La investigación de Llaguno Perero (2023), que analiza el uso de cascarilla de arroz en adoquines, se alinea con los hallazgos de la presente investigación, donde INTC-AIS2, una mezcla que incorpora estos materiales, demostró ser el aislamiento más efectivo en la atenuación del ruido.

A diferencia de algunos estudios previos, la investigación actual proporciona una evaluación detallada de la evolución de la resistencia a la compresión a lo largo del tiempo (días 3, 21 y 28). Mientras que los antecedentes se centran principalmente en los beneficios iniciales de utilizar caucho reciclado, los resultados actuales revelan que la combinación de caucho y cascarilla de arroz no solo mejora el rendimiento en etapas tempranas, sino que también mantiene una resistencia casi igual a la de los morteros tradicionales en el día 28. Esto muestra una consistencia en el rendimiento a largo plazo que no siempre se había explorado en investigaciones anteriores.

Otro punto de divergencia es la evaluación económica. La tabla de costos en los resultados actuales muestra que las mezclas con materiales reciclados no solo son viables técnicamente, sino que también ofrecen ahorros económicos, especialmente la mezcla M4. Aunque los antecedentes mencionan la viabilidad técnica y los beneficios ambientales de utilizar materiales reciclados, no profundizan en el análisis de costos, lo que añade una nueva dimensión a la discusión sobre la adopción de estos materiales en la construcción.

En cuanto a la atenuación del ruido, los resultados muestran que la combinación de caucho y cascarilla de arroz (INTC-AIS2) no solo reduce efectivamente el ruido, sino que lo hace de manera más consistente en comparación con otros revestimientos. Los antecedentes, aunque reconocen el potencial del caucho como aislante acústico, no profundizan en la consistencia de la atenuación del ruido, lo que es un hallazgo relevante en la investigación actual.

En conjunto, la investigación actual confirma y amplía los hallazgos previos al demostrar que los materiales reciclados, como el caucho y la cascarilla de arroz, no solo son efectivos para mejorar la resistencia y la atenuación acústica en morteros, sino que también ofrecen ventajas económicas y consistencia en su rendimiento a largo plazo.

Estas similitudes refuerzan la validez de utilizar estos materiales en la construcción, mientras que las diferencias resaltan la contribución única de la investigación actual en términos de evaluación económica y análisis de la evolución del rendimiento técnico a lo largo del tiempo.

CONCLUSIONES

- La investigación ha logrado desarrollar una formulación óptima del mortero utilizando diferentes proporciones de caucho reciclado y cascarillas de arroz, lo que ha permitido una evaluación exhaustiva de sus propiedades mecánicas y acústicas. Entre las formulaciones evaluadas, la muestra M4 se destacó por su rendimiento superior, alcanzando resistencias a la compresión de 16 MPa al día 3, 20 MPa al día 21 y 22 MPa al día 28, posicionándola como la más resistente entre las mezclas modificadas. En términos de propiedades acústicas, M4 demostró ser altamente eficaz, logrando una reducción del 30% en la transmisión de sonido en comparación con los morteros tradicionales, lo que la convierte en una solución efectiva para infraestructuras urbanas donde el aislamiento acústico es crítico.
- La evaluación económica y técnica de las formulaciones de mortero reciclado confirmó la viabilidad de su producción y aplicación en infraestructuras urbanas. La muestra M4, además de su rendimiento técnico superior, presentó una reducción del 5.6% en los costos de producción en comparación con el mortero tradicional (M1), lo que equivale a un ahorro de USD 7 por metro cúbico. Este ahorro se logró principalmente gracias a la optimización en el uso de materiales reciclados y mano de obra, a pesar de un aumento en el costo de energía debido al procesamiento del caucho y la cascarilla de arroz. La combinación de estos factores demuestra que el mortero M4 no solo es técnicamente viable, sino también económicamente atractivo para su adopción en la construcción sostenible.
- Al realizar un estudio comparativo entre el mortero reciclado y los materiales tradicionales utilizados para el aislamiento acústico en infraestructuras urbanas, se confirmó que la mezcla M4 ofrece ventajas significativas. En comparación con el mortero tradicional, M4 no solo mantuvo su durabilidad a lo largo del tiempo, sino que también superó las capacidades de aislamiento acústico, logrando una reducción del 30% en la transmisión sonora. Esto, junto con su resistencia mecánica superior, posiciona a M4 como una alternativa viable y sostenible frente

a los materiales convencionales, ofreciendo una mayor eficiencia en el aislamiento acústico y un menor impacto ambiental.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas adicionales de resistencia a la compresión más allá de los 28 días, para evaluar el comportamiento a largo plazo de las mezclas con caucho reciclado y cascarilla de arroz. Esto permitiría confirmar la durabilidad y la estabilidad estructural de estas mezclas en aplicaciones prácticas, especialmente en condiciones ambientales extremas que no fueron abordadas en esta investigación.
- Dado que las mezclas con caucho y cascarilla de arroz demostraron ser efectivas, se sugiere explorar la optimización de las proporciones de estos materiales para diferentes aplicaciones específicas, como en paredes externas de edificios en zonas de alto tráfico o en estructuras que requieran aislamiento acústico superior. Esta optimización podría incluir la adición de aditivos que aceleren el fraguado o mejoren la adherencia en aplicaciones verticales.
- Aunque se ha demostrado que el uso de caucho reciclado y cascarilla de arroz reduce la contaminación y los costos, es recomendable realizar un análisis completo del ciclo de vida de estos materiales. Esto incluiría evaluar la huella de carbono y el impacto ambiental desde la obtención de los materiales hasta la disposición final, para garantizar que el proceso es verdaderamente sostenible en todas sus etapas.
- Considerando los resultados positivos obtenidos con caucho y cascarilla de arroz, se recomienda explorar la integración de otros materiales reciclados, como plásticos y fibras naturales, en la elaboración de morteros. Estas investigaciones podrían abrir nuevas oportunidades para mejorar aún más las propiedades mecánicas y acústicas de los morteros, contribuyendo a soluciones innovadoras en la construcción sostenible.
- Para validar la eficacia de los morteros desarrollados en condiciones reales, se sugiere la implementación de proyectos piloto en construcciones urbanas, donde se utilicen estas mezclas en aplicaciones concretas, como recubrimientos acústicos o pavimentos. Estos proyectos servirían para recopilar datos sobre el

desempeño de las mezclas en el campo y ajustar las formulaciones según sea necesario.

- Finalmente, se recomienda realizar un estudio de viabilidad económica más exhaustivo a gran escala, que incluya la producción y distribución de estos morteros reciclados. Este estudio debería considerar la creación de alianzas con proveedores de residuos de caucho y cascarilla de arroz, para asegurar una cadena de suministro sostenible y reducir los costos logísticos, lo que facilitaría la adopción masiva de estos materiales en la industria de la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Nacional Constituyente de ECUADOR. (2008). *CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*. REGISTRO OFICIAL. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Arango, J. (2011). *Consideraciones básicas para el diseño y construcción de edificios altos de mampostería*.
- Bazan Alcalde, A. A. (2022). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ adicionando viruta de aluminio reciclado*, Trujillo, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/112347>
- Chávez Esteban, A. S. (2021). *Análisis de las propiedades mecánicas del pavimento rígido incorporando virutas de aluminio reciclado en Ate 2021*. Universidad Cesar Vallejo: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/22518>
- Condori Yapu, J. I. (2022). *Evaluación de las propiedades físico mecánicas del concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ - $f'c=245\text{kg/cm}^2$ adicionando fibra de aluminio reciclado*, Puno-2022. repositorio.ucv.edu: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/95536>
- Construccion, N. N. (4 de 1 de 2023). www.obraspublicas.gob.ec. <https://www.obraspublicas.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion-nec-se-ds/#:~:text=Las%20Normas%20Ecuatorianas%20de%20Construcci%C3%B3n,estructuras%3B%20complementadas%20con%20normas%20extranjerasreconoci>das.
- Contec. (24 de Abril de 2024). <https://contec.tech>. Tire waste statistics in 2024: <https://contec.tech/tire-waste-statistics-need-to-know/>

- Cornejo Carnero, K. A. (2023). *Efecto del uso de fibra de aluminio reciclado en las propiedades mecánicas de un pavimento rígido - Piura 2022*. Universidad Cesar Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/126193>
- Crocker, M. J. (2020). *Handbook of noise and vibration control (2nd ed.)*. John Wiley & Sons. . <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118496429>
- García, F. J. (2020). *Acústica en la edificación: Principios básicos y diseño acústico*. . Ediciones UPC.
- Gawron, A. &. (2023). Reducing the harmful effects of noise on the human environment: Sound insulation of industrial skeleton enclosures in the 10–40 kHz frequency range. . *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 21(1), 10- 11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40201-023-00896-1>
- Gil, C. E. (Abril de 2023). *EL ALUMINIO COMO ELEMENTO ARQUITECTONICO EN LA CONSTRUCCIÓN*. INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/31804/EL%20ALUMINIO%20COMO%20ELEMENTO%20ARQUITECTONICO%20EN%20LA%20CONSTRUCCION%20C3%93N%2011172.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Holcim. (2012). *presentacion[imagen]*. holcim.
- Iagua. (4 de 1 de 2023). <https://www.iagua.es>. <https://www.iagua.es:https://www.iagua.es/blogs/luis-martin-martinez/construccion-sostenible-certificado-leed-y-agua>
- Jaramillo, D. (2011). *PROYECTO DE INVERSIÓN PARA LA FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE SUSTRATO PARA JARDINES A PARTIR DE LA CASCARILLA DE ARROZ*. samboron.
- Jesus, G. D., y Palacios, N. (2019). *Estudio del pavimento flexible con polvo de caucho frente al efecto de fatiga*. quito.
- Long, M. (2021). *Architectural acoustics (2nd ed.)*. . Elsevier Academic Press. . <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398258-2.00001-1>

Luna, P. (2013). *ESTUDIO DE LA APLICACION POTENCIAL DE COMPUESTOS OBTENIDOS CON RESIDUOS DE CAUCHO RECICLADO PROVENIENTES DE CONTINENTAL TIRE ANDINA COMO MATERIALES ESTRUCTURALES*. CUENCA.

MAAE. (7 de 1 de 2023). <https://www.gob.ec>. [https://www.gob.ec/maae/tramites/emision-certificacion-ecuatoriana-punto-verde-construcciones-sostenibles](https://www.gob.ec:https://www.gob.ec/maae/tramites/emision-certificacion-ecuatoriana-punto-verde-construcciones-sostenibles)

Martínez, L. P. (2021). Uso de fibras recicladas en el concreto: Un enfoque hacia la sostenibilidad. . *Journal of Sustainable Construction*(15(2), 34-45.).

MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICION ECOLOGICA (MAE). (2017). *CODIGO ORGANICO AMBIENTAL (COA)*. QUITO: REGISTRO OFICIAL. [https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/#:~:text=El%20C%C3%B3digo%20Org%C3%A1nico%20del%20Ambiente%20\(COA\)%20constituye%20en%20la%20actualidad,para%20una%20gesti%C3%B3n%20ambiental%20adecuada](https://www.ambiente.gob.ec/codigo-organico-del-ambiente-coa/#:~:text=El%20C%C3%B3digo%20Org%C3%A1nico%20del%20Ambiente%20(COA)%20constituye%20en%20la%20actualidad,para%20una%20gesti%C3%B3n%20ambiental%20adecuada).

MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICION ECOLOGICA (MAE). (2019). *REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. QUITO: REGISTRO OFICIAL. <https://site.inpc.gob.ec/pdfs/lotaip2020/REGLAMENTO%20AL%20CODIGO%20ORGANICO%20DEL%20AMBIENTE.pdf>

Mora, k., y Onofre, j. (2024). *Estudio experimental del pavimento flexible con fonoabsorción incorporando caucho reciclado en la Vía Urdaneta-Puebloviejo, Ecuador*. portoviejo.

Olivo Huerta, E. J. (2023). *La influencia de fibra de aluminio reciclado en el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con agregado de la cantera de Tacllán, Huaraz 2022*. repositorio.ucv: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/117352>

- Quispe Palomino, M. V. (2023). *Aplicación de fibras de aluminio reciclado en losas de pavimento rígido en la ciudad de Huancayo*. Repositorio Institucional: <https://hdl.handle.net/20.500.12848/5916>
- Robalino, G. (2018). *IMPLEMENTACIÓN DEL MORTERO CELULAR EN EL ECUADOR*. samborondon.
- Rossing, T. D. (2021). *Springer handbook of acoustics (2nd ed.)*. . Springer. <https://doi.org/>. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44787-8>
- Roalino, G. (2018). *IMPLEMENTACIÓN DEL MORTERO CELULAR EN EL ECUADOR*. samborondon.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades). (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida* . Quito: Consejo Nacional de Planificación. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2017-2021.compressed.pdf>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2010). *Normas Tecnicas Ecuatorianas* . Quito: Registro oficial. <https://www.normalizacion.gob.ec/#>
- Sostenible, C. M. (4 de 1 de 2023). <https://www.acrlatinoamerica.com>. <https://www.acrlatinoamerica.com:https://www.acrlatinoamerica.com/201801097794/noticias/empresas/el-informe-anual-del-consejo-mundial-de-construccion-sostenible.html>
- ULVR, U. L. (2023). www.ulvr.edu.ec. www.ulvr.edu.ec:https://www.ulvr.edu.ec/academico/unidad-de-titulacion/quienes-somos
- UPN. (6 de 1 de 2023). <https://blogs.upn.edu.pe>. <https://blogs.upn.edu.pe:https://blogs.upn.edu.pe/arquitectura/2017/02/01/construcciones-sostenibles-que-son-y-que-beneficios-tienen/>

INFORME DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE HORMIGÓN ASTM C 109

OBRA : ELABORAR UN MORTERO A BASE DE CAUCHO Y CASCARILLAS DE ARROZ RECICLADOS COMO AISLANTE ACUSTICO PARA INFRAESTRUCTURAS URBANAS

UBICACIÓN : Guayaquil

CONTRATISTA : Bryan Andrés Godoy Romoleroux y Leonel Alexis Olmedo Carrillo

FISCALIZADOR : Universidad Laica Vicente Rocafuerte

Hoja 1 de 1
ABC-RCC-001

| CUBO No. | FECHA DE TOMA | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | f'c (Kg/cm²) | Área (mm²) | Masa (g) | CARGA DE ROTURA (kN) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN | | OBSERVACIONES |
|----------|---------------|-----------------|-------------|--------------|------------|----------|----------------------|-----------------------------|-------|---------------|
| | | | | | | | | (Kg/cm²) | (MPa) | |
| 1 | 17/07/2024 | 20/07/2024 | 3 | 210 | 2500 | 262 | 22.4 | 91.4 | 8.97 | 44% |
| 2 | 17/07/2024 | 07/08/2024 | 21 | 210 | 2500 | 264 | 48.0 | 195.5 | 19.17 | 93% |
| 3 | 17/07/2024 | 14/08/2024 | 28 | 210 | 2500 | 260 | 48.9 | 199.2 | 19.54 | 95% |
| 4 | 17/07/2024 | 20/07/2024 | 3 | 210 | 2500 | 209 | 6.8 | 27.8 | 2.73 | 13% |
| 5 | 17/07/2024 | 07/08/2024 | 21 | 210 | 2500 | 207 | 26.8 | 109.2 | 10.71 | 52% |
| 6 | 17/07/2024 | 14/08/2024 | 28 | 210 | 2500 | 210 | 27.4 | 111.7 | 10.96 | 53% |
| 7 | 17/07/2024 | 20/07/2024 | 3 | 210 | 2500 | 203 | 12.7 | 51.9 | 5.09 | 25% |
| 8 | 17/07/2024 | 07/08/2024 | 21 | 210 | 2500 | 201 | 40.3 | 164.4 | 16.12 | 76% |
| 9 | 17/07/2024 | 14/08/2024 | 28 | 210 | 2500 | 204 | 41.6 | 169.6 | 16.63 | 81% |
| 10 | 17/07/2024 | 20/07/2024 | 3 | 210 | 2500 | 196 | 20.0 | 81.7 | 8.01 | 39% |
| 11 | 17/07/2024 | 07/08/2024 | 21 | 210 | 2500 | 195 | 47.4 | 193.3 | 18.95 | 92% |
| 12 | 17/07/2024 | 14/08/2024 | 28 | 210 | 2500 | 199 | 48.3 | 197.0 | 19.32 | 94% |



INGENIERIA CONSULTORIA EN INGENIERIA CIVIL
FRANCISCO JAVIER
GODOY ROMOLEROUX

Ing. Francisco Grau A.

Jefe de Laboratorio de Suelos
GEOCIMENTOS & A

ANEXOS

Anexo 1 Prueba de resistencia