	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado	Pág.		
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO	1(118)		

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Katia Milena Cabana Oliveros Maira Alejandra Solano Ojeda		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Haidee Yulady Jaramillo		
TÍTULO DE LA TESIS	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial de agregado fino		
TITULO EN INGLES	Determination of the physical and mechanical properties of the 1:4 dosage mortar with the addition of rice husk as a partial replacement of fine aggregate		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>Monografía de compilación referente a las propiedades físicas y mecánicas obtenidas en el mortero al adicionar cascarilla de arroz.</p> <p>Con el desarrollo de esta monografía se buscó la difusión de un nuevo material alternativo que puedan ser incorporados en el mortero a favor de los nuevos requerimientos ambientales exigidos para el sector de la construcción de infraestructuras.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>Compilation monograph referring to the physical and mechanical properties obtained in the mortar by adding rice husk. With the development of this monograph, the diffusion of a new alternative material that can be incorporated in the mortar in favor of the new environmental requirements demanded for the infrastructure construction sector was sought.</p>			
PALABRAS CLAVES	Mortero, Resistencia a la compresión, Resistencia a la flexión, Velocidad de pulso ultrasónico, Microscopía electrónica de barrido		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Mortar, compressive strength, flexural strength, ultrasonic pulse velocity, scanning electron microscopy		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 120	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 0	CD-ROM: 1



**Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4
con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino**

Katia Milena Cabana Oliveros

Maira Alejandra Solano Ojeda

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería civil

Msc. Haidee Yulady Jaramillo

23 Marzo del 2022

Agradecimientos

Las autoras de este trabajo expresan su cordial agradecimiento a la MSc. Haidee Yulady Jaramillo, por la dirección del trabajo, su apoyo y colaboración permanente durante toda la investigación.

Así mismo agradecen a todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron en este trabajo: amigos, compañeros y docentes, así como aquellos profesionales que brindaron su ayuda, especialmente al Ing. Luis Miguel Duarte Vergara por su acompañamiento y colaboración en todas las etapas del proyecto.

Finalmente agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por brindar los conocimientos y las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo.

Katia Milena Cabana Oliveros

Maira Alejandra Solano Ojeda

Dedicatoria

Dedico el desarrollo de este trabajo a Dios, por todo su amor y compañía en cada paso que he dado en mi vida, a mis padres y hermanos, porque gracias a su apoyo, paciencia, confianza y amor incondicional hoy es posible este sueño, a mis abuelos, que aunque no se encuentren en este plano terrenal, su presencia siempre está en mi corazón. Gracias infinitas a todos ustedes, por enseñarme que con esfuerzo todo es posible, los amo.

Katia Milena Cabana Oliveros

Dedicatoria

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio, enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todos ellos, especialmente a mi mamá Sandra Patricia Solano Ojeda y mis abuelos Álvaro Jesús Solano Valero y Carmen Cecilia Ojeda de Solano, dedico este trabajo porque han fomentado en mí el deseo de superación y triunfo en la vida. Espero seguir contando con su apoyo siempre. Los amo con todo mi corazón.

También quiero dedicarles este trabajo a todas esas personas que de una u otra manera pusieron un granito de arena para que esto funcionara. A esos angelitos que Dios me puso en el camino y me motivaron a seguir creciendo como profesional, esos angelitos tienen nombre y ellos saben quiénes son. Bendiciones para ustedes siempre y que Dios les multiplique todo lo que hicieron por mí.

Maira Alejandra Solano Ojeda

Tabla de contenido

Introducción.....	17
Capítulo 1. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino ...	19
1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.2 Formulación del problema.....	20
1.3 Objetivos.....	21
1.3.1 Objetivo general.	21
1.3.2 Objetivos específicos.	21
1.4 Justificación	22
1.5 Delimitaciones	24
1.5.1 Operativas.	24
1.5.2 Conceptuales.	24
1.5.3 Geográficas	25
1.5.4 Temporales.....	25
Capítulo 2. Marco referencial.....	26
2.1 Marco histórico	26
2.2 Marco teórico	28
2.2.1 Teorías.....	28
2.2.2 Estado del arte.	29

2.3 Marco conceptual	31
2.3.1 Mortero.	32
2.3.2 Cascarilla de arroz.	32
2.3.3 Resistencia a la compresión.	34
2.3.4 Resistencia a la flexión.	35
2.3.5 Ensayo Ultrasonido.....	36
2.3.6 Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).	37
2.3.7 Agregado fino.....	38
2.4 Marco legal	39
Capítulo 3. Diseño metodológico	43
3.1 Tipo de investigación	43
3.2 Población	43
3.3 Muestra	43
3.4 Instrumentos para la recolección de información	44
3.5 Análisis de información.....	45
Capítulo 4. Resultados	48
4.1 Determinar las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino	48

4.1.1 Caracterizar los distintos materiales a utilizar en la fabricación del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz para garantizar que cumplan los requerimientos necesarios para ser empleados.	48
4.1.2 Realizar el diseño de mezcla necesario para la elaboración del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz con el cual se elaboraran las probetas de mortero.	53
4.1.3 Obtener las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y a la flexión) y físicas (Velocidad de Pulso Ultrasónico) del mortero de dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz, por medio de ensayos destructivos y no destructivos.	59
4.1.4 Determinar la articulación de la mezcla de mortero por medio del ensayo de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) con el fin de observar las distintas variaciones que se producen en el mortero con la adición de la cascarilla de arroz.....	74
4.1.5 Realizar la comparación de los costos de fabricación del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz para establecer las variaciones económicas que se presentan entre las distintas mezclas.	79
Conclusiones.....	84
Recomendaciones	87
Referencias	88
APÉNDICES	92

Lista de figuras

Figura 1. Aspecto típico del mortero empleado en construcción	32
Figura 2. Cascarilla de arroz después del proceso de molienda	33
Figura 3. Realización del ensayo de compresión en cubos de mortero	35
Figura 4. Realización del ensayo de flexión en vigas de mortero	36
Figura 5. Equipo de Ultrasonido.....	37
Figura 6. Microscopio Electrónico de Barrido	38
Figura 7. Arena proveniente de ríos.....	39
Figura 8. Cemento Portland Ordinario (OPC) empleado en la investigación	49
Figura 9. Arena empleada para la fabricación de las probetas de mortero	50
Figura 10. Granulometría de la arena empleada	51
Figura 11. Cascarilla de arroz en su estado natural	52
Figura 12. Cascarilla de arroz triturada.....	52
Figura 13. Moldes de icopor empleados para la fabricación de las probetas de mortero ...	57
Figura 14. Proceso de mezclado de los materiales del mortero.....	58
Figura 15. Total de probetas de mortero fabricadas	59
Figura 16. Ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero	61
Figura 17. Gráfico de la resistencia a la compresión del mortero a los 7 días	62
Figura 18. Gráfico de la resistencia a la compresión del mortero a los 28 días	63

Figura 19. Gráfico de la comparación de la resistencia a la compresión del mortero a los 7 y 28 días.....	64
Figura 20. Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de mortero	66
Figura 21. Gráfico de la resistencia a la flexión del mortero a los 7 días	67
Figura 22. Gráfico de la resistencia a la flexión del mortero a los 28 días	68
Figura 23. Gráfico de la comparación de la resistencia a la flexión del mortero a los 7 y 28 días	69
Figura 24. Ensayo de Velocidad del Pulso Ultrasónico	70
Figura 25. Gráfico de la Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 7 días	72
Figura 26. Gráfico de la Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 28 días	73
Figura 27. Gráfico de la comparación de la Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 7 y 28 días	74
Figura 28. Fragmentos obtenidos de los cubos de mortero	75
Figura 29. Fragmentos de mortero sometidos a un haz de electrones	76
Figura 30. Composición microscópica del mortero sin adición de cascarilla de arroz.....	77
Figura 31. Composición microscópica del mortero con adición de 1% de cascarilla de arroz	78
Figura 32. Gráfico del valor unitario del mortero con adición de cascarilla de arroz	82
Figura 33. Realización del ensayo de granulometría a la arena: equipos	94
Figura 34. Realización del ensayo de granulometría a la arena: tamizado	94

Figura 35. Molino empleado para la trituración de la cascarilla de arroz.....	95
Figura 36. Comparativa de la cascarilla de arroz triturada y no triturada.....	95
Figura 37. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de 0% de cascarilla de arroz.....	96
Figura 38. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cubos con 1% de cascarilla de arroz.....	97
Figura 39. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cubos con 3% de cascarilla de arroz.....	98
Figura 40. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cubos de 5% de cascarilla de arroz.....	99
Figura 41. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cubos con 0% de cascarilla de arroz	100
Figura 42. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cubos con 1% de cascarilla de arroz	101
Figura 43. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cubos con 3% de cascarilla de arroz	102
Figura 44. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cubos con 5% de cascarilla de arroz	103
Figura 45. Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días en cubos con 0% de cascarilla de arroz.....	104

Figura 46. Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días en cubos con 1% de cascarilla de arroz.....	105
Figura 47. Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días en cubos con 3% de cascarilla de arroz.....	106
Figura 48. Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días en cubos con 5% de cascarilla de arroz.....	107
Figura 49. Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días en cubos con 0% de cascarilla de arroz.....	108
Figura 50. Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días en cubos con 1% de cascarilla de arroz.....	109
Figura 51. Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días en cubos con 3% de cascarilla de arroz.....	110
Figura 52. Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días en cubos con 5% de cascarilla de arroz.....	111
Figura 53. Dispositivo empleado para el ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico.....	112
Figura 54. Cubos de mortero empleados para el ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico.....	113
Figura 55. Ejecución del ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico.....	114
Figura 56. Fragmentos del mortero.....	115
Figura 57. Ubicación de los fragmentos de mortero en la placa base.....	116

Figura 58. Ubicación de los fragmentos en el dispositivo SEM.....	117
Figura 59. Aplicación del haz de electrones a los fragmentos de mortero.....	118

Lista de tablas

Tabla 1. Usos del mortero de acuerdo a su dosificación	29
Tabla 2. Composición mineralógica de la cascarilla de arroz	34
Tabla 3. Número de probetas de pañete o mortero para cada ensayo	44
Tabla 4. Cantidad de materiales en el mortero por cada cm^3	54
Tabla 5. Volumen de un cubo de mortero	54
Tabla 6. Volumen de una viga de mortero	54
Tabla 7. Cantidad de materiales empleados para la fabricación de los cubos de mortero ...	55
Tabla 8. Cantidad de materiales empleados para la fabricación de las vigas de mortero	55
Tabla 9. Cantidad de materiales empleados para la fabricación de las probetas de mortero (cubos y vigas)	56
Tabla 10. Resistencia a la compresión del mortero a los 7 días	61
Tabla 11. Resistencia a la compresión del mortero a los 28 días	62
Tabla 12. Resistencia a la compresión del mortero a los 28 días	65
Tabla 13. Resistencia a la flexión del mortero a los 7 días	67
Tabla 14. Resistencia a la flexión del mortero a los 28 días	68
Tabla 15. Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 7 días	71
Tabla 16. Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 28 días	72
Tabla 17. Valor unitario del mortero con 0% de cascarilla de arroz	80

Tabla 18. Valor unitario del mortero con 1% de cascarilla de arroz	80
Tabla 19. Valor unitario del mortero con 3% de cascarilla de arroz	81
Tabla 20. Valor unitario del mortero con 5% de cascarilla de arroz	81
Tabla 21. Valor unitario de los morteros estudiados	82

Lista de apéndices

Apéndice A. Formato de ensayo de granulometría.....	93
Apéndice B. Trituración de la cascarilla de arroz.....	95
Apéndice C. Registro fotográfico del ensayo de resistencia a la compresión.....	96
Apéndice D. Registro fotográfico del ensayo de resistencia a la flexión.....	104
Apéndice E. Registro fotográfico del ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico.....	112
Apéndice F. Registro fotográfico del ensayo SEM	115

Introducción

El mortero es uno de los materiales de construcción más empleado en todo el mundo. Sus usos se remontan desde la antigüedad, y en la actualidad se ha convertido en un elemento clave en diversos tipos de edificaciones y estructuras. Sin embargo, como todo material constructivo, su utilización produce efectos negativos sobre los recursos naturales, sobre todo en los de carácter no renovable, como la arena, pues este es el elemento clave para la fabricación del mortero, junto con el cemento (Lozano, 2020; Behak & Peres Nuñez, 2008).

Ante la necesidad de dar solución a una problemática como esta, y gracias a la tendencia actual de buscar alternativas en pro de la conservación de los recursos naturales, y de producir la menor extracción posible de los recursos no renovables, se ha intensificado la búsqueda de materiales que permitan disminuir el uso de la arena en el mortero. Uno de estos materiales ha sido la cascarilla de arroz, la cual durante años fue considerada con un desperdicio, sin mayor aprovechamiento, sin embargo, hoy día se considera viable su uso en materiales de construcción, como el mortero, e incluso, se considera que la aplicación de este tipo de innovaciones tiene el potencial de crear una nueva industria, más sustentable y amigable con el medio ambiente (Bustillo, 2008).

En el presente trabajo, se comparte la experiencia obtenida con la utilización de la cascarilla de arroz en el mortero de dosificación 1:4, con el fin de disminuir el uso de la arena.

En el primer capítulo se describen los materiales que se emplearon para la fabricación del mortero, incluyendo la arena, el cemento y la cascarilla de arroz. En el segundo capítulo se ilustra el diseño de mezcla desarrollado para determinar los porcentajes de cascarilla de arroz a emplear en las probetas de mortero. En el tercer capítulo se exponen los resultados obtenidos en los ensayos destructivos y no destructivos realizados en las probetas de mortero, con los cuales se obtuvieron propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y a la flexión) y físicas (Velocidad de Pulso Ultrasónico). En el cuarto capítulo se muestran las variaciones del mortero con y sin cascarilla de arroz a nivel microscópico mediante el ensayo SEM. Por último, en el quinto capítulo se realiza una breve comparación de los valores unitarios del mortero para cada una de las mezclas ejecutadas en la investigación.

Capítulo 1. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino

1.1 Planteamiento del problema

Según estimaciones realizadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el mundo se producen más de 700 millones de toneladas anuales de arroz. En el caso de Colombia, la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) en su más reciente informe indica que la producción anual de arroz es cercana a 3 millones de toneladas (Sierra, J., et al., 2009; Serrano, T., et al., 2012).

El grano de arroz cosechado se encuentra recubierto por una cascarilla, la cual representa entre un 20 a 30% del peso del grano. Esta cascarilla presenta poco valor nutricional, por lo que es en su mayoría desechada. Sumado a esto, su proceso de descomposición es lento, por lo que para facilitar su transporte y posterior desecho, es incinerada y depositada en vertederos y basureros (Mafla, 2009).

Actualmente no existen aplicaciones donde se utilice la cascarilla de arroz, por lo que se han convertido en una importante fuente contaminante al ser totalmente desechada. Ante la

necesidad de emplear un material proveniente del sector agroindustrial, se propone su empleo en el mortero, con el fin de determinar el porcentaje de cascarilla de arroz que permite mejorar las propiedades físicas y mecánicas del mortero al reemplazar parcialmente el agregado fino, y reducir sus costos de fabricación (Lozano, 2020).

En el caso específico del departamento de Norte de Santander, existen cerca de 18.000 hectáreas dedicadas al cultivo de arroz, cuya producción anual supera las 200.000 toneladas, lo que representa una generación de más de 20.000 toneladas de cascarilla de arroz, que son totalmente desechadas y que se han convertido en fuente generadora de contaminación en los centros de procesamiento de este producto. Actualmente en el departamento existen 10 empresas procesadoras de arroz: Ecofermil S.A.S., Grupo Villamizar Flórez S.A.S., Agrorugeles S.A.S., Malvilla S.A.S., Madoplast S.A.S., Fe y Futuro S.A.S., Agroinversiones Loma Verde S.A.S., Arrocería Guarín S.A.S., y Preago S.A.S (Albarracín, Mendoza, & Monroy, 2020).

1.2 Formulación del problema

¿Cuál será el resultado de la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Determinar las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar los distintos materiales a utilizar en la fabricación del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz para garantizar que cumplan los requerimientos necesarios para ser empleados.
- Realizar el diseño de mezcla necesario para la elaboración del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz con el cual se elaboraran las probetas de mortero.
- Obtener las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y a la flexión) y físicas (Velocidad de Pulso Ultrasónico) del mortero de dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz, por medio de ensayos destructivos y no destructivos.

- Determinar la articulación de la mezcla de mortero por medio del ensayo de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) con el fin de observar las distintas variaciones que se producen en el mortero con la adición de la cascarilla de arroz.
- Realizar la comparación de los costos de fabricación del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz para establecer las variaciones económicas que se presentan entre las distintas mezclas.

1.4 Justificación

La importancia de esta investigación radica en el amplio uso que actualmente existe del mortero, el cual es un material resultado de la combinación de cemento (aglomerante), agregados finos o arena (relleno), agua, y en ocasiones aditivos. Al endurecer presenta propiedades físicas y mecánicas que permiten su empleo en la construcción, principalmente como pega en mamposterías, así como para recubrimientos en pañetes y revoques (Chur, 2010; Demera & Romero, 2018).

Con la adición de cascarilla de arroz en el mortero como reemplazo parcial del agregado fino, se brindaría una alternativa de aplicación para un material que es totalmente desechado, y se lograría integrar como un componente clave en el mortero. De esta manera se estaría cumpliendo con uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles establecidos en el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que es el de construir infraestructuras

resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación (PNUD, 2020; Aliaga, 2018).

El aporte de este proyecto se ajusta a la nueva tendencia de una economía ambiental, centrada en la sostenibilidad al optimizar los recursos renovables, en este caso la cascarilla de arroz, a la vez que se promueve la reducción de materiales no renovables, como la arena o agregado fino, para de esta forma incentivar una mayor búsqueda de nuevos mecanismos que permitan lograr un uso eficiente de los recursos (Chur, 2010; COLCIENCIAS, 2017).

Con un nuevo material alternativo para el sector de la construcción, se estaría brindando una solución para los desafíos económicos y ambientales a los que se enfrenta la sociedad actualmente, y que en el caso específico de la ciudad de Ocaña, y del departamento de Norte de Santander, están enmarcadas en la necesidad de un verdadero desarrollo sostenible, por lo que la investigación e innovación científica evidencian ser el camino para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (PNUD, 2020).

Actualmente los arroceros (cultivadores) del departamento se encuentran asociados en la cooperativa COAGONORTE, por medio de la cual organizan sus actividades de producción, sin embargo, las empresas procesadoras (mencionadas en el planteamiento del problema) no hacen parte de esta cooperativa, por lo que desarrollan sus actividades de forma independiente, limitándose a la compra del producto ofrecido por los arroceros. Esta situación ha generado que el uso de la cascarilla de arroz generada sea muy limitada, de ahí la importancia de un aprovechamiento alternativo de este material que incentive su uso (PNUD, 2020)

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Operativas.

Para la realización de este trabajo de grado fue necesario la utilización de los laboratorios de Resistencia de Materiales y de Suelo y Pavimentos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, y de un laboratorio particular debidamente certificado, GEOTEC, donde se llevó a cabo los ensayos requeridos para la investigación. Se contó de forma adicional con el Laboratorio de Física de la Universidad EAFIT ubicado en la ciudad de Medellín, para la realización del ensayo de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). El costo de los ensayos llevados a cabo en laboratorios particulares fue asumido en su totalidad por los estudiantes. La adquisición de los materiales necesarios para desarrollar la investigación fue asumida por los estudiantes.

1.5.2 Conceptuales.

Se tuvo en cuenta los siguientes conceptos: mortero, cascarilla de arroz, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, ultrasonido, Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), agregado fino.

1.5.3 Geográficas

La investigación fue realizada en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

1.5.4 Temporales.

El tiempo de desarrollo de la investigación fue de 4 meses.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

En las últimas décadas se ha buscado la manera de dar un aprovechamiento a los residuos generados en los procesos de producción agroindustrial de tal manera que se planteen nuevas soluciones con beneficios económicos y ambientales. Uno de los usos que actualmente cuenta con varias experiencias está relacionado con la adición de nuevos materiales que permitan reducir la cantidad de arena en el mortero, cuyo propósito es mejorar las propiedades físicas y mecánicas de este material de tal forma que sea adecuado para construcción de edificaciones (Clavería Vásquez, Triana Mendoza, & Varon Ospina, 2018).

Un residuo agroindustrial de gran importancia es la cascarilla de arroz, esto se debe en gran medida a que el arroz es uno de los productos más consumidos a nivel mundial, siendo la cascarilla de arroz el mayor residuo generado en producciones agrícolas de granos, lo que representa grandes inconvenientes para su disposición final pues deben realizarse tratamientos especiales para su desecho. Se estima que por cada 4 toneladas de arroz producidas se genera una (1) tonelada en cascarilla de arroz. Según la Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado (ENAM) realizada en el año 2020 en Colombia la producción anual de arroz es mayor a 2 millones de toneladas. Esta producción representa la generación de más de 400.000 toneladas de cascarilla de arroz (Lozano, 2020).

México ha sido uno de los países pioneros en investigaciones efectuadas para buscar aprovechamientos prácticos de la cascarilla de arroz. De esta manera han demostrado la viabilidad de utilizar este material en la construcción de mobiliarios y paredes de infraestructuras donde acuden muchas personas, como cines o edificios altos, dado que la cascarilla de arroz presenta un nivel muy bajo de combustión. Por otra parte, su alta resistencia a la humedad, al impacto y la intemperie lo hacen ideal para cerramientos en zonas costeras (Sierra Aguilar, 2009).

En Colombia el uso de cascarilla de arroz ha estado más vinculado a la generación de productos orgánicos con fines agrícolas como sustrato o abono. No obstante, en la última década se ha llevado a cabo su adicción con el fin de producir bloques de concreto, mejoramiento de capas de subbase y subrasante para pavimentos, así como su aprovechamiento como combustible y generador de energía (Sierra Aguilar, 2009).

Las ventajas del aprovechamiento de la cascarilla de arroz en el sector de la construcción se han demostrado en la fabricación de ladrillos y mezclas de concreto, en los cuales la cascarilla favorece el endurecimiento del cemento, ya que al ser agregada con agua y aditivos forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua (SENA, 2020).

A pesar de las investigaciones realizadas hasta la fecha, aún existen muchas situaciones por estudiar sobre el uso de la cascarilla de arroz, sobre todo al adicionarse junto al mortero. En cualquier caso debe tenerse presente que la tendencia de aprovechar los residuos agroindustriales es un proceso relativamente nuevo, con un rango de tiempo menor a 30 años, por lo que existen muchas posibilidades de encontrar resultados satisfactorios en investigaciones de esta naturaleza.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Teorías.

2.2.1.1 Empleo del mortero de acuerdo a su dosificación.

El uso del mortero en unidades de mampostería se encuentra reglamentado por las normas ASTM C-270 *Especificación estándar para mortero usado en mampostería*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC 3329 *Especificaciones del mortero para unidades de mampostería*. La dosificación cemento:arena, permite conocer la relación del mortero. De acuerdo a esta relación se recomiendan los distintos usos del mortero, como se ilustra en la Tabla 1.

Tabla 1*Usos del mortero de acuerdo a su dosificación*

Dosificación mortero	Usos
1:1	Rellenos e impermeabilizaciones
1:2	Rellenos, tanques subterráneos e impermeabilizaciones
1:3	Pisos, e impermeabilizaciones menores
1:4	Pañetes finos, muros y baldosines
1:5	Pañetes no muy finos, baldosines, mampostería, y pega de ladrillos, exteriores
1:6 y 1:7	Pañetes no muy finos, pega de ladrillos, baldosines, exteriores
1:8 y 1:9	Estabilización de taludes.

Nota: Recomendaciones basadas en las aplicaciones dadas hasta la fecha en el mortero. Adaptada de (Arciniegas & Fonseca, 2004).

2.2.2 Estado del arte.

A continuación se listan los trabajos e investigaciones que se relacionaron directamente con el presente proyecto:

2.2.2.1 Investigaciones internacionales.

En el año 2010, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, se efectuó un trabajo donde se evaluaron probetas de mortero para mampostería con diferentes contenidos de agregado orgánico (cascarilla de arroz), basados en la norma ASTM C-270. Como resultado de esta

investigación los autores resaltan que la adición de la cascarilla de arroz contribuye a mejorar la capacidad de aislamiento térmico del mortero, así mismo se reduce la demanda de agua necesaria para adicionar al mortero (Chur, 2010).

La Universidad Politécnica de Valencia, España, en el año 2012, se analizó la posibilidad de emplear la cascarilla de arroz como una adición para la fabricación de morteros ligeros. En la investigación se efectuaron ensayos para la obtención de la densidad, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión. Como resultado del proceso se concluyó que los morteros fabricados con cascarilla de arroz permiten disminuir la densidad, aunque aumentan su porosidad, lo que los convierte en agregados adecuados para construcciones donde se busque un alto aislamiento térmico y acústico (Serrano, T., et al., 2012).

En la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, en la ciudad de Calceta, Ecuador, en el año 2018, se buscó estimar la cantidad de residuos de cascarilla de arroz que se generan en los centros de acopio del cantón Rocafuerte, además de realizarse ensayos de resistencia mecánica en los bloques en los que se adicionaron los agregados de cascarilla de arroz. Se concluyó con este trabajo que las mayores resistencias a la compresión a los 28 días se dan en los bloques en los que se adicionó un 25% de cascarilla de arroz, siendo esta la cantidad máxima recomendada (Demera & Romero, 2018).

2.2.2.2 Investigaciones nacionales.

En la Universidad Piloto de Colombia en el año 2011, en la ciudad de Bogotá, se efectuó una investigación con el objetivo de emplear la cascarilla de arroz como material en el aligeramiento de losas de una dirección, para su producción en el municipio de Maicao, La Guajira. Se determinó el comportamiento e interacción del mortero seco con la cascarilla de arroz. Con estos ensayos se concluyó que el contenido óptimo en el diseño de mezcla es aquel donde se adiciona un 8% de cascarilla de arroz (Álvarez & Ardila, 2011).

En el año 2016, en la Universidad Libre de Bogotá, Colombia, se buscó analizar el comportamiento mecánico de fluidez y resistencia a la tracción de los morteros con reemplazos parciales de arena desde un 5% hasta un 25%, proponiendo de esta manera el empleo de estos residuos como alternativa para disminuir la explotación de la arena. Como resultado se demostró que la adición de un 20% de cascarilla de arroz produce fuerzas de tracción comparables con las obtenidas con adhesivos comerciales (Novoa, Becerra, & Vásques, 2016).

2.3 Marco conceptual

Para el desarrollo del trabajo de grado se tuvieron presente los siguientes conceptos:

2.3.1 Mortero.

El mortero hace referencia a la mezcla de materiales aglomerantes (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua, y ocasionalmente aditivos, los cuales, al endurecerse, presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y son ampliamente empleados en elementos de mampostería en la construcción de muros, o para uso como pañete o revoque. En la figura 1 se observa el aspecto común del mortero (Chur, 2010).

Figura 1

Aspecto típico del mortero empleado en construcción



Nota. (Tec.ac.cr, 2021). Obtenido en: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2017/09/29/pongale-ojo-cementazo>

2.3.2 Cascarilla de arroz.

La cascarilla de arroz es un subproducto que se genera del proceso de molienda del grano de arroz obtenido en los campos de cultivo. La cascarilla recubre totalmente el grano de arroz, y

se caracteriza por tener una superficie áspera y abrasiva, muy resistente a la degradación natural. A causa de su bajo contenido de proteínas no es apropiada como forraje para animales, lo que dificulta su aprovechamiento económico. En la figura 2 se observa el aspecto característico de este material agroindustrial (Demera & Romero, 2018).

Figura 2

Cascarilla de arroz después del proceso de molienda



Nota. (Canalupe, 2021). Obtenido en: <https://canalupe.com/product/cascarilla-de-arroz/>

La cascarilla de arroz presenta dentro de su composición mineralógica, un alto contenido de sílice, lo que conlleva a que sea un material de baja degradabilidad natural, por lo que su vertimiento tiende a generar altas contaminaciones en el medio ambiente. En la Tabla 2 se muestra la composición mineralógica de este material.

Tabla 2*Composición mineralógica de la cascarilla de arroz*

Componente	Composición
Celulosa: polímero de glucosa	50%
Lignina: polímero de fenol	30%
Sílice: componente primario de ceniza	20%

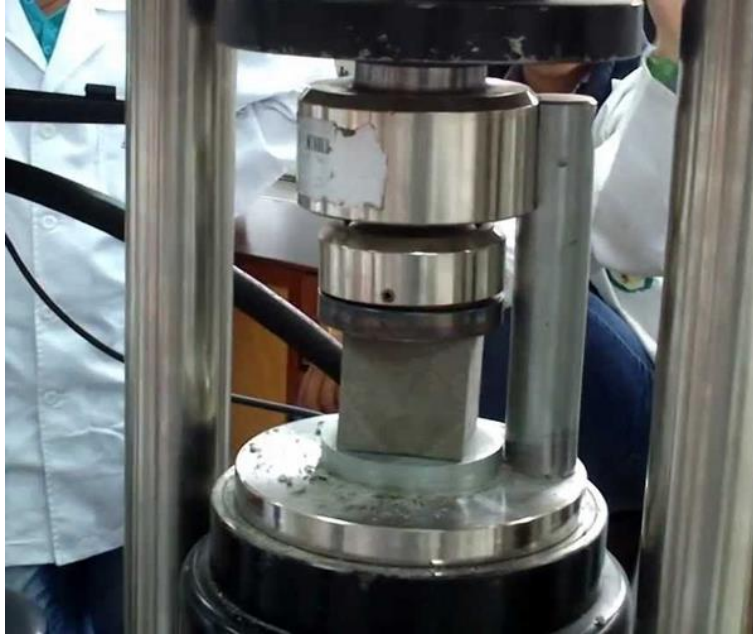
Nota: Estructura mineralógica común de la cascarilla de arroz. Adaptada de (Aliaga, 2016).

2.3.3 Resistencia a la compresión.

Se define como el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. Se calcula dividiendo la carga máxima aplicada por el área transversal original de una probeta (en este caso, de mortero) en un ensayo de compresión. El ensayo se efectúa en una máquina universal, donde se ajusta la velocidad de aplicación de la carga, hasta obtener la rotura del espécimen. Este ensayo para el mortero, está normalizado en la NTC 220 *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado*. En la figura 3 se observa un ejemplo de la realización de este tipo de ensayos (Iturralde & Rocafuerte, 2019).

Figura 3

Realización del ensayo de compresión en cubos de mortero



Nota. (360enconcreto, 2021). Obtenido en:

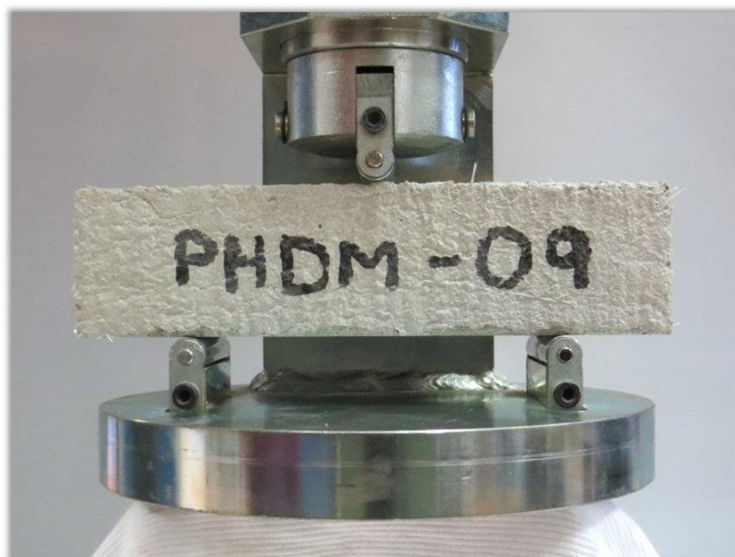
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/cemento/propiedades-fisicas-del-cemento>

2.3.4 Resistencia a la flexión.

Se refiere a la medida de la resistencia de un elemento o miembro estructural a las fuerzas flectoras. El término también es conocido como resistencia a la tracción. En el mortero, esta propiedad es determinada mediante la NTC 120 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*. En la figura 4 se observa la realización de este ensayo (Iturralde & Rocafuerte, 2019).

Figura 4

Realización del ensayo de flexión en vigas de mortero



Nota: (Researchgate.com, 2021). Obtenido en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-A32-Posicion-inicial-del-ensayo-a-flexion-en-probetas-de-mortero_fig33_308631488

2.3.5 Ensayo Ultrasonido.

El ensayo de ultrasonido, es un tipo de ensayo no destructivo, que permite caracterizar el espesor o las estructuras internas de una pieza o probeta bajo ensayo, mediante la aplicación de ondas ultrasónicas de alta frecuencia. Estas frecuencias, o emisiones, se encuentran por encima del límite perceptible por el oído humano, comúnmente en un rango de 500 kHz a 20 MHz. Su realización se encuentra normalizada por la NTC 4325 *Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto*. En la figura 5 se observa el equipo característico empleado para la realización de este ensayo (Aliaga, 2018).

Figura 5*Equipo de Ultrasonido*

Nota: (Utest.com.tr, 2021). Obtenido en: <https://www.utest.com.tr/es/26006/Equipo-para-Pruebas-de-Ultrasonido>

2.3.6 Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).

El dispositivo donde se emplea un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen, es el Microscopio Electrónico de Barrido o SEM (Scanning Electron Microscope). Se caracteriza por su gran profundidad de campo, lo que facilita mayor enfoque de la muestra estudiada. Con este dispositivo se logra obtener imágenes de alta resolución, las cuales pueden

ser examinadas con una alta magnificación. Estas muestras son recubiertas con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras. En la figura 6 se observa un microscopio de este tipo (Universidad de Burgos, 2020).

Figura 6

Microscopio Electrónico de Barrido



Nota: Obtenido en: <https://www.upct.es/sait/es/microscopia/microscopia-electronica-de-barrido/>

2.3.7 Agregado fino.

El agregado fino, o simplemente arena, hace referencia a materiales pétreos cuyos tamaños de partícula oscilan entre los 4.75 mm a 0.075 mm (Tamices N°4 y N°200, respectivamente). Este agregado suele ser extraído de fuentes hídricas primarias, como ríos y quebradas, por lo que su uso se ha asociado directamente con el deterioramiento progresivo de estas fuentes, además de

aumentar el efecto producido durante temporadas invernales o de fuertes lluvias. En la figura 7 se observa el aspecto común de este material (Escuela de Organización Industrial, 2011).

Figura 7

Arena proveniente de ríos



Nota: (Masmateriales.com, 2021). Obtenido en: <https://masmateriales.com/arena-rio-encostalada-o-por-viaje-guadalajara/>

2.4 Marco legal

La continuidad de esta investigación dependerá de la congruencia que se mantenga con respecto a los requisitos legales y normativos mencionados a continuación:

Título D de la Norma Técnica Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), creada por la ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008/ modificada ley 945 de 2017).

Ley 603 de 2000, sobre la legalización del software para proteger la propiedad intelectual y evitar el incremento de piratería en Colombia.

Ley 1796 de 2016 o Ley de vivienda segura, en la cual se establecen medidas enfocadas a la protección del comprado de vivienda.

ASTM C-270 *Especificación estándar para mortero usado en mampostería*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC 3329 *Especificaciones del mortero para unidades de mampostería*, donde se indican las especificaciones del mortero para unidades de mampostería.

ASTM C-144 *Especificación estándar para agregados de mortero de albañilería*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-2240 *Agregados usados en morteros de mampostería*, donde se indican las especificaciones que deben cumplir los agregados empleados para la fabricación de mortero de mampostería.

ASTM C-1157 *Especificación normalizada de desempeño para cemento hidráulico*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-121 *Especificación de desempeño para cemento hidráulico*, donde se indican las especificaciones que deben cumplir el cemento a emplear en el mortero.

ASTM C-109 *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando especímenes cúbicos de 2 in o 50 mm)*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-220 *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado*, donde se indican las especificaciones para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión, respectivamente.

ASTM C-348 *Método de prueba estándar para resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-120 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*, donde se indican las especificaciones para la realización de los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión, respectivamente.

ASTM C-136 *Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-77 *Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*, donde se indica el método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.

ASTM E-114 *Estándar practice for ultrasonic pulse-echo straight-beam examination by the contact method*, y la Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC 4325 *Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto*, donde se especifica el procedimiento de ensayo por ultrasonido en probetas de concreto y mortero.

ASTM E-1382 *Estándar Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis (Métodos de prueba estándar para determinar el tamaño de grano medio mediante análisis de imagen semiautomático y automático)*, el cual reglamenta los procedimientos a efectuar en este tipo de métodos, como el del ensayo de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

El presente proyecto correspondió a una investigación cuantitativa de tipo experimental, donde se realizaron ensayos de laboratorio que permitieron la fabricación del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino, con el fin de comparar su comportamiento respecto al mortero comúnmente empleado.

3.2 Población

La población consistió en el mortero de dosificación 1:4 (cemento:arena) con adición de distintos porcentajes de cascarilla de arroz. Los porcentajes adicionados fueron determinados en el diseño de mezcla del segundo objetivo de este trabajo.

3.3 Muestra

Se trabajó con un muestreo intencional u opinático, seleccionando los materiales que permitieron la fabricación del mortero de dosificación 1:4, con adición de tres porcentajes

distintos de cascarilla de arroz. Para la realización de los ensayos que permitieron obtener las propiedades mecánicas y físicas fue necesario la realización de probetas, las cuales fueron ensayadas acorde a las normas ASTM C-109 (NTC 220), ASTM C-438 (NTC 120), ASTM E-114 (NTC 4325), y ASTM E-1348. Se consideró para la investigación un número mínimo de 18 probetas por cada porcentaje de cascarilla de arroz adicionado al mortero (entre vigas y cubos de mortero). El total de probetas ensayadas fue de 66. En la tabla 3 se detalla las probetas a utilizadas en cada ensayo.

Tabla 3

Número de probetas de pañete o mortero para cada ensayo

Ensayo	Número de probetas
Resistencia a la compresión	24
Resistencia a la flexión	24
Ultrasonido	12
SEM	6
Total probetas	66

Nota: Número de ensayos determinados por criterio del investigador basado en investigaciones similares (Autores, 2021).

3.4 Instrumentos para la recolección de información

Las técnicas de recolección de información de primer orden utilizadas en el desarrollo de este proyecto fueron la observación, donde se empleó: lista de frecuencia y cámara fotográfica, además se utilizaron los formatos de toma de datos y análisis disponibles en los laboratorios

donde se efectuaron los ensayos al pañete o mortero. Este proceso fue efectuado acorde a los lineamientos establecidos por la Norma Sismo Resistente del 2010 (NSR-10) y las Normas Técnicas Colombianas (NTC).

3.5 Análisis de información

El objetivo principal de este proyecto estuvo enfocado en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino (arena), para lo cual fue necesario analizar la información cuantitativa recolectada mediante un análisis descriptivo.

Para lograr tal propósito se plantearon 5 etapas:

La primera etapa consistió en la obtención de los materiales necesarios para el desarrollo de la investigación, los cuales fueron caracterizados antes de la fabricación del mortero. Se realizaron ensayos de granulometría para cumplir con lo establecido en la ASTM C-144 *Especificación estándar para agregados de mortero de albañilería* y la NTC-2240 *Agregados para mortero de relleno utilizado en mampostería*. Además se realizó la trituration de la cascarilla de arroz y se le realizó un ensayo granulométrico para determinar su tamaño máximo.

En la segunda etapa se realizó el diseño de mezcla para la elaboración del mortero. Se realizaron probetas (cubos y vigas) para 4 grupos, un grupo sin adición de cascarilla de arroz, y los otros 3 con un porcentaje diferente de cascarilla. Los porcentajes empleados fueron 1%, 3%, y 5% respecto al contenido de arena. Los cubos contaron con las dimensiones correspondientes establecidas en las normas ASTM C-109 y NTC-220, y las vigas con las dimensiones indicadas en la ASTM C-348 y NTC-120.

En la tercera etapa se realizaron los ensayos correspondientes para la obtención de las propiedades físico-mecánicas del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz, acorde a las normas ASTM C-109 y NTC-220 para el ensayo de resistencia a compresión, la ASTM C-348 y NTC-120 para el ensayo de resistencia a flexión, y la ASTM E-114 y NTC 4325 para el ensayo de ultrasonido. En esta etapa se realizó la respectiva categorización del mortero para pañete de acuerdo a la NTC-3329 *Especificaciones del mortero para unidades de mampostería*.

En la cuarta etapa, se seleccionaron las probetas del mortero para pañete con adición de cascarilla de arroz con la dosificación que presentó los mejores resultados en las propiedades físico-mecánicas de la etapa anterior, además de probetas de mortero sin adición de fibras. En total fueron 6 probetas, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de Investigación de Materiales de la Universidad EAFIT, en la ciudad de Medellín, donde fueron sometidos a revisiones en el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), con el fin de determinar la composición microscópica de los materiales y el comportamiento microscópico de sus partículas.

Por último, en la quinta etapa, se compararon los costos de fabricación de las probetas de mortero con dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz, respecto al mortero con dosificación 1:4 empleado en las distintas construcciones de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Determinar las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino

El mortero es uno de los materiales más frecuentemente empleado en las construcciones, siendo uno de los responsables directos de la alta demanda de materiales no renovables, especialmente arena, por lo que la adición de materiales de origen natural, como la cascarilla de arroz, está orientada hacia la búsqueda de una nueva alternativa de construcción sostenible, que permita el aprovechamiento de un material que comúnmente es totalmente desechado.

Esta investigación fue efectuada con el propósito de determinar las propiedades físicas y mecánicas del mortero de dosificación 1:4 con adición de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino, es decir, mediante adiciones de distintos porcentajes de este material, para lo cual fue necesario el desarrollo de los objetivos específicos descritos a continuación:

4.1.1 Caracterizar los distintos materiales a utilizar en la fabricación del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz para garantizar que cumplan los requerimientos necesarios para ser empleados.

Los materiales utilizados en la investigación fueron:

Cemento. Se empleó Cemento Portland Ordinario (OPC), o gris de uso general, el cual es muy utilizado en las construcciones realizadas en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, razón por la cual fue seleccionado. En la figura 8 se observa el aspecto del cemento empleado para la fabricación de las probetas de mortero.

Figura 8

Cemento Portland Ordinario (OPC) empleado en la investigación



Nota: (Autores, 2021).

Arena. Esta fue adquirida en un establecimiento ubicado en el Barrio Marabel de la ciudad de Ocaña. En la figura 9 se muestra el aspecto de la arena empleada para la fabricación de las probetas de mortero.

Figura 9

Arena empleada para la fabricación de las probetas de mortero



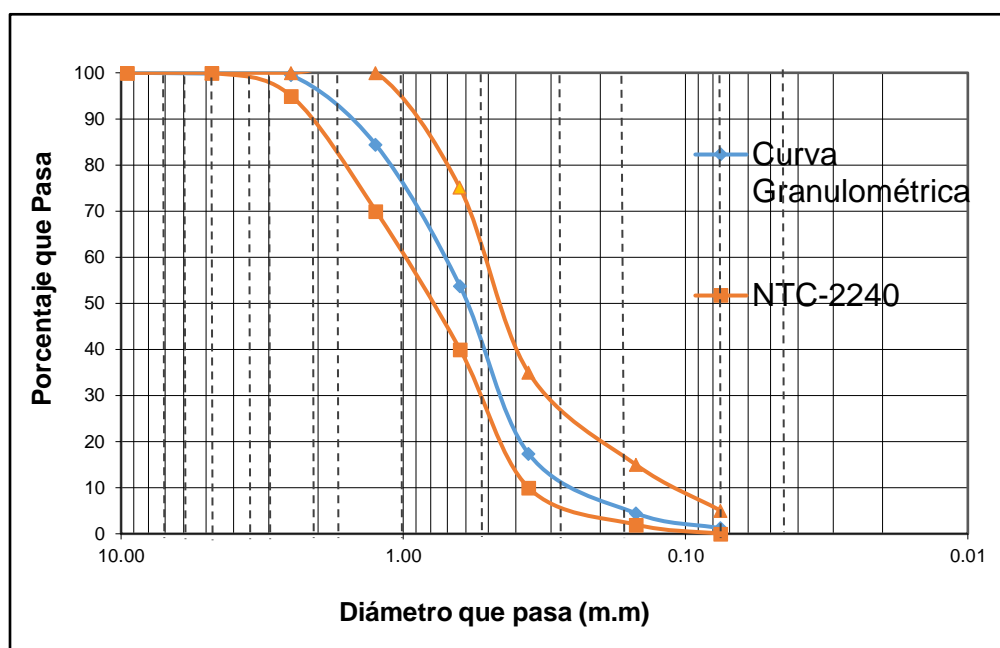
Nota: (Autores, 2021).

Antes de la elaboración de las probetas, la arena fue sometida a un ensayo de granulometría, donde se verificó que ésta cumplía con los requerimientos establecidos en la NTC-2240 *Agregados para mortero de relleno utilizado en mampostería*, como se observa en la figura 10, donde la línea de color azul indica la granulometría de la arena estudiada, y las líneas de color naranja los rangos mínimos y máximos que debe cumplir. En el Apéndice A se muestra

el formato de los resultados de ensayo y la evidencia de su realización. Este ensayo fue efectuado en el laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Figura 10

Granulometría de la arena empleada



Nota: (Autores, 2021).

Cascarilla de arroz. Este material fue adquirido en el mercado público de la ciudad de Ocaña. En la figura 11 se observa el aspecto original de la cascarilla. Debido a su forma, y para evitar la formación de vacíos dentro de las probetas de mortero, se realizó una trituration de la cascarilla de arroz empleando un molino manual, como se observa en la figura 12. En el Apéndice B se muestra el registro fotográfico adicional de este proceso.

Figura 11

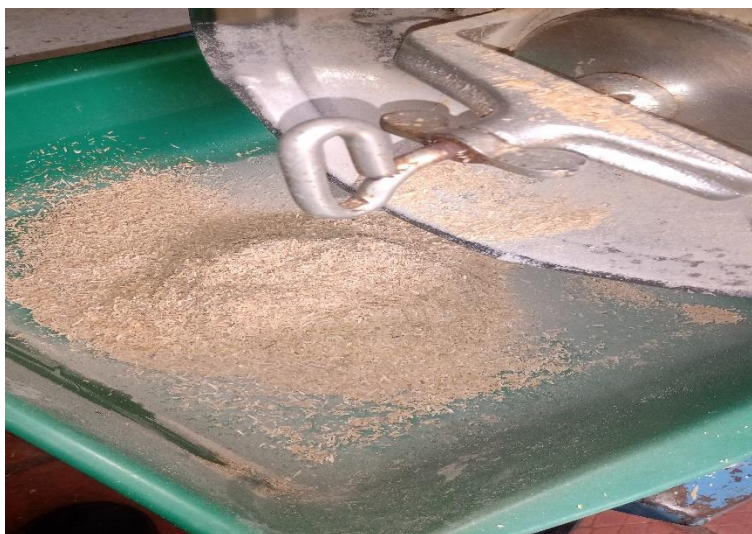
Cascarilla de arroz en su estado natural



Nota: (Autores, 2021).

Figura 12

Cascarilla de arroz triturada



Nota: (Autores, 2021).

4.1.2 Realizar el diseño de mezcla necesario para la elaboración del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz con el cual se elaboraran las probetas de mortero.

El diseño de mezcla se centró en la adición de cascarilla de arroz como sustituto parcial del porcentaje de arena presente en el mortero de dosificación 1:4. Basados en la bibliografía recopilada, específicamente en los trabajos de Chur, 2010, Serrano, T., et al, 2012, Demera & Romero, 2018, Álvarez & Ardila, 2011 y Novoa, Becerra & Vásquez, 2016, donde se encontró que los mejores resultados en las propiedades del mortero se presentan con el empleo de porcentajes de cascarilla de arroz de entre 0,5 y 5%, se decidió realizar un diseño de mezcla con adiciones de 0%, 1%, 3%, y 5% de cascarilla respecto al porcentaje de arena.

Para iniciar con el diseño, se verificaron las condiciones establecidas en las normas NTC 220 *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado*, y la NTC 120 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*. Basados en estas normas, se verificó que las dimensiones de los cubos deben ser de 5x5x5 cm, y para el caso de las vigas, de 4x4x16 cm.

Dado que la dosificación del mortero a emplear era de 1:4 (cemento:arena), se determinó inicialmente la cantidad de cemento y arena requerida por cada cm^3 , como se observa en la tabla 4:

Tabla 4

Cantidad de materiales en el mortero por cada cm^3

Relación 1:4	Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (l) Relación A/C (0.5)
1 m^3	364	1740	180
1 cm^3	0.000364	0.001740	0.000182

Nota: (Autores, 2021).

Posteriormente se calculó el volumen de cada cubo y viga, como se muestra en las tablas 5 y 6, respectivamente:

Tabla 5

Volumen de un cubo de mortero

Dimensiones probeta			Volumen probeta (cm^3)
Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	
5	5	5	125

Nota: (Autores, 2021).

Tabla 6

Volumen de una viga de mortero

Dimensiones probeta			Volumen probeta (cm^3)
Ancho (cm)	Alto (cm)	Largo (cm)	
4	4	16	256

Nota: (Autores, 2021).

Se realizaron en total, 56 cubos y 32 vigas de mortero, divididas en 4 mezclas: 0%, 1%, 3% y 5% de cascarilla respecto al contenido de arena. Cada mezcla fue elaborada por separado. En las tablas 7 y 8 se ilustran las cantidades empleadas para la elaboración de las mezclas en los cubos y vigas, respectivamente.

Tabla 7

Cantidad de materiales empleados para la fabricación de los cubos de mortero

Cascarilla de arroz respecto al contenido de arena (%)	Material			
	Cemento (kg)	Arena (kg)	Cascarilla de arroz (kg)	Agua (l)
0	0.64	3.05	0	0.32
1	0.64	3.01	0.0305	0.32
3	0.64	2.95	0.0913	0.32
5	0.64	2.89	0.1523	0.32
Total	2.55	11.91	0.274050	1.28

Nota: (Autores, 2021).

Tabla 8

Cantidad de materiales empleados para la fabricación de las vigas de mortero

Cascarilla de arroz respecto al contenido de arena (%)	Material			
	Cemento (kg)	Arena (kg)	Cascarilla de arroz (kg)	Agua (l)
0	0.75	3.56	0	0.38
1	0.75	3.53	0.0356	0.38
3	0.75	3.46	0.1069	0.38
5	0.75	3.39	0.1782	0.38
Total	2.98	13.93	0.320717	1.52

Nota: (Autores, 2021).

En la tabla 9 se ilustran las cantidades que se emplearon de cada material en cada una de las 4 mezclas elaboradas (0%, 1%, 3% y 5%), usadas en los cubos y vigas. Se utilizó una relación de agua:cemento (A/C) de 0.5.

Tabla 9

Cantidad de materiales empleados para la fabricación de las probetas de mortero (cubos y vigas)

Cascarilla de arroz respecto al contenido de arena (%)	Materiales (kg)			
	Cemento	Arena	Cascarilla de arroz	Agua
0	1.38	6.61	0.000	0.691
1	1.38	6.54	0.066	0.691
3	1.38	6.41	0.198	0.691
5	1.38	6.28	0.330	0.691
Total	5.53	17.89	0.595	2.765

Nota: (Autores, 2021).

Después de determinar las cantidades de materiales a utilizar en el diseño de mezcla, y antes de la fabricación de las probetas, se realizaron manualmente los moldes de los cubos y vigas. Para esto se utilizó icopor como material principal. Se realizaron las mediciones y cortes necesarios para cumplir con las dimensiones de los cubos y vigas, en las cantidades requeridas para la investigación. En la figura 13 se muestra una vista superficial de los moldes fabricados.

Figura 13

Moldes de icopor empleados para la fabricación de las probetas de mortero



Nota: (Autores, 2021).

Después de la elaboración de los moldes, se procedió a la fabricación de las probetas de mortero, para lo cual se mezclaron los distintos materiales en las cantidades especificadas en la tabla 9 para cada porcentaje de cascarilla de arroz. En la figura 14 se observa el proceso de mezclado de los materiales.

Figura 14

Proceso de mezclado de los materiales del mortero

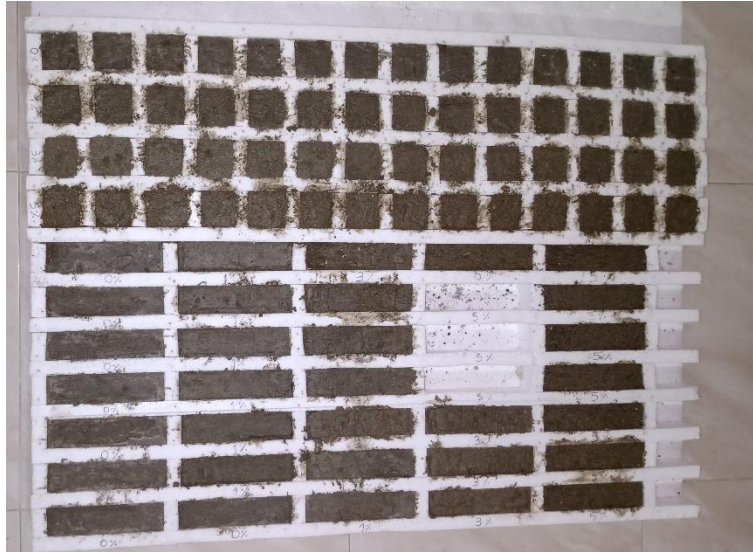


Nota: (Autores, 2021).

Finalmente las mezclas fueron depositadas en sus respectivas probetas, siendo apisonadas en 2 capas, cada capa se apisonaba un total de 25 veces, al terminar este proceso se alisaba la superficie de cada probeta. En la figura 15 se observa el total de probetas fabricadas.

Figura 15

Total de probetas de mortero fabricadas



Nota: (Autores, 2021).

Transcurridas las 24 horas necesarias para el fraguado completo del mortero, se retiraron las probetas de los moldes de icopor, se marcó cada probeta con su correspondiente porcentaje, y se ubicaron en un depósito de agua para garantizar su curado.

4.1.3 Obtener las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión y a la flexión) y físicas (Velocidad de Pulso Ultrasónico) del mortero de dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz, por medio de ensayos destructivos y no destructivos.

Las propiedades mecánicas y físicas obtenidas en esta investigación, corresponden específicamente a la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y la Velocidad de Pulso Ultrasónico (Ensayo de ultrasonido). A continuación se aborda la información correspondiente a cada propiedad.

4.1.3.1 Resistencia a la compresión.

Esta propiedad fue obtenida de acuerdo a los procedimientos establecidos en la ASTM C-109 *Método de prueba estándar para obtener la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando especímenes cúbicos de 2 in o 50 mm)*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-220 *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado*, donde se indican las especificaciones para la realización del ensayo de resistencia a la compresión. En el Apéndice C se muestra el registro fotográfico completo de este proceso.

El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Empleando la máquina universal disponible (figura 16) en este laboratorio, se fallaron los cubos de mortero con edades de 7 y 28 días, para cada una de los porcentajes de cascarilla de arroz estudiados. En las tablas 10 y 11 se muestran los resultados obtenidos en los cubos de 7 y 28 días, respectivamente. Así mismo en las figuras 17 y 18 se muestran las representaciones gráficas correspondientes a cada tabla.

Figura 16

Ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero



Nota: (Autores, 2021).

Tabla 10

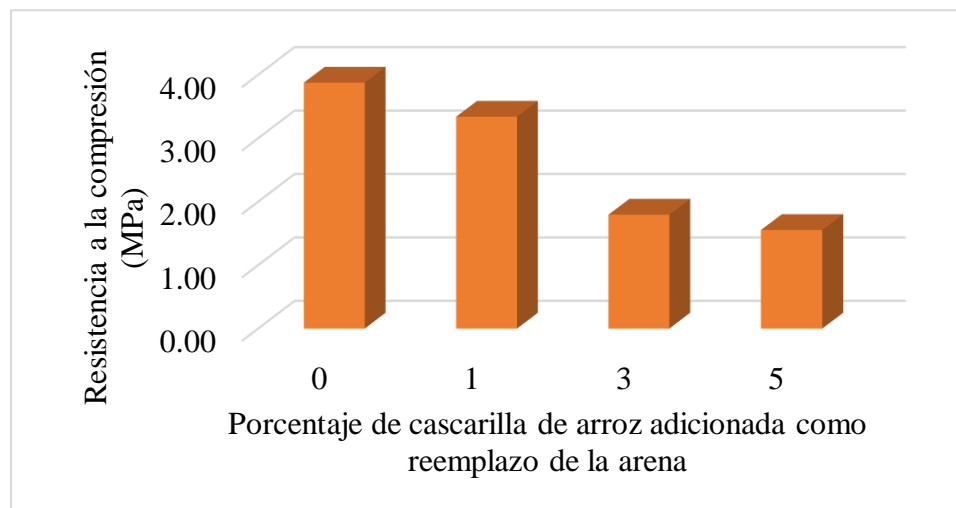
Resistencia a la compresión del mortero a los 7 días

Cascarilla de arroz (%)	Dimensión Cubo (mm)		Carga última (kN)	Esfuerzo último (MPa)
	Largo	Ancho		
0	50	50	9.93	3.97
	49	50	9.70	3.96
	50	49	9.06	3.70
1	50	50	8.12	3.25
	50	50	8.13	3.25
	50	50	8.79	3.52
3	50	50	3.63	1.45
	50	50	4.25	1.70
	50	49	5.47	2.23
5	50	50	4.01	1.60
	50	49	2.99	1.22
	50	50	4.59	1.84

Nota: (Autores, 2021).

Figura 17

Gráfico de la resistencia a la compresión del mortero a los 7 días



Nota: (Autores, 2021).

Tabla 11

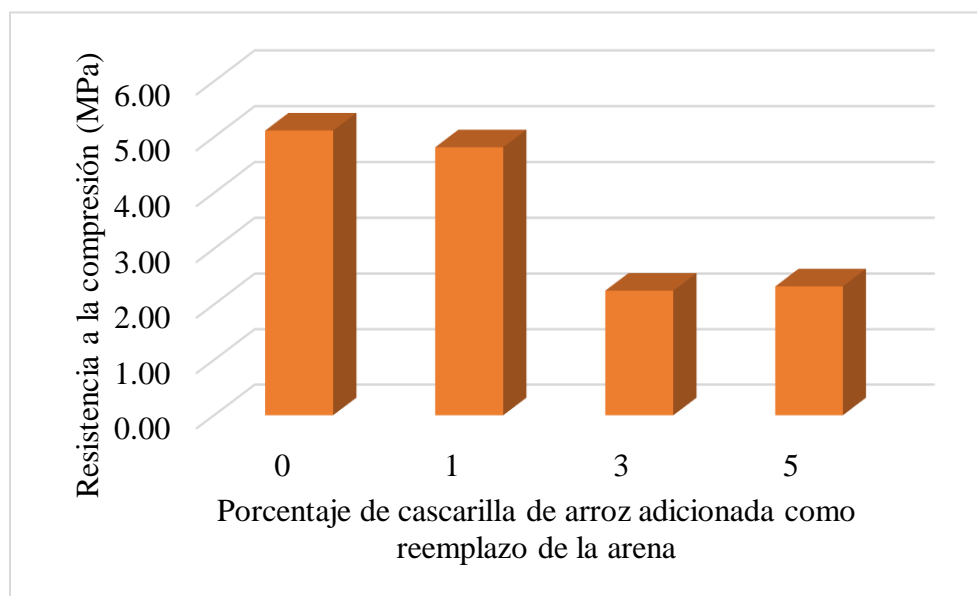
Resistencia a la compresión del mortero a los 28 días

Cascarilla de arroz (%)	Dimensión Cubo (mm)		Carga última (kN)	Esfuerzo último (MPa)
	Largo	Ancho		
0	50	50	13.96	5.58
	50	51	12.64	4.96
	50	50	12.01	4.80
1	50	49	11.04	4.51
	50	49	12.84	5.24
	50	50	11.75	4.70
3	50	50	5.35	2.14
	50	49	6.64	2.71
	50	50	4.72	1.89
5	50	50	4.79	1.92
	50	49	5.55	2.27
	50	50	6.97	2.79

Nota: (Autores, 2021).

Figura 18

Gráfico de la resistencia a la compresión del mortero a los 28 días

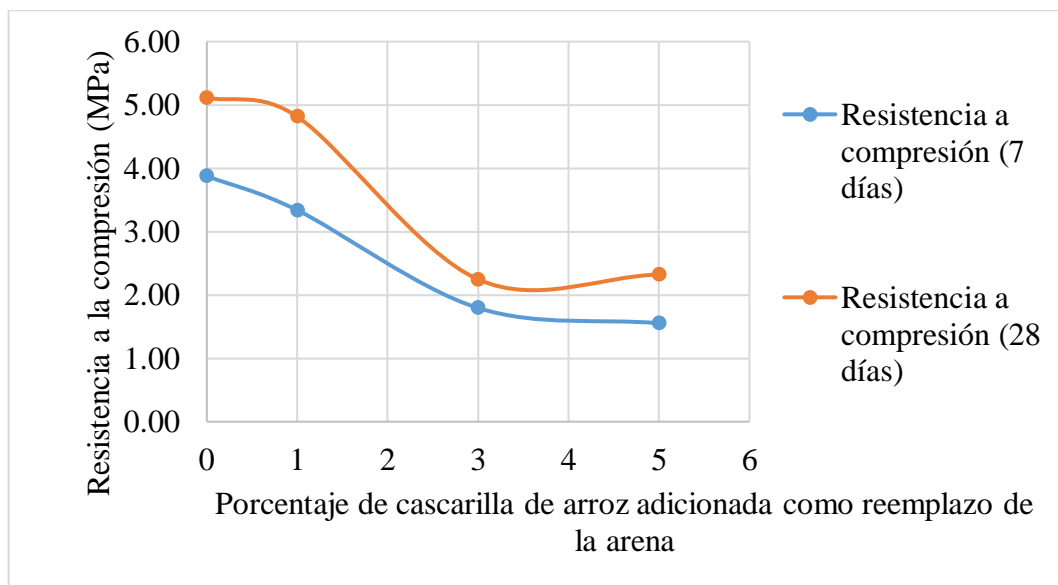


Nota: (Autores, 2021).

A continuación se muestra una comparación gráfica (Figura 19) de los resultados de resistencia a compresión obtenidos en los cubos de 7 y 28 días. Se observa claramente que la resistencia a los 28 días es mayor que a los 7 días, lo que evidencia un comportamiento normal en este tipo de materiales. En cuanto a los resultados de cada porcentaje, la mayor resistencia se presenta en el mortero sin adición de cascarilla de arroz, sin embargo, a los 28 días el mortero con adición de 1% de cascarilla de arroz presenta una resistencia cercana al 95% del mortero sin adición de cascarilla de arroz, siendo por tanto el mortero con inclusión de cascarilla de arroz con mejor resistencia a compresión. El mortero con adición de 3% y 5% de cascarilla de arroz, presenta una disminución del 55% y %56% de resistencia, respectivamente, comparados con el mortero sin cascarilla.

Figura 19

Gráfico de la comparación de la resistencia a la compresión del mortero a los 7 y 28 días



Nota: (Autores, 2021).

De acuerdo con la NTC 3329 *Concreto especificaciones del mortero para unidades de mampostería*, los morteros pueden ser clasificados según su resistencia a la compresión como se muestra en la tabla 12. Basados en esta clasificación el mortero estudiado, y específicamente el de inclusión de 1% de cascarilla de arroz, puede ser catalogado como Tipo O, y por tanto cumple con el requisito mínimo para ser empleado para unidades de mampostería.

Tabla 12*Resistencia a la compresión del mortero a los 28 días*

Tipo	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)
M	17.20
S	12.40
N	5.20
O	2.40

Nota: (Autores, 2021).

4.1.3.2 Resistencia a la flexión.

Esta propiedad fue obtenida de acuerdo a la ASTM C-348 *Método de prueba estándar para resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*, y su Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC-120 *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico*, donde se indican las especificaciones para la realización de los ensayos de resistencia a la flexión.

Los ensayos de resistencia a flexión fueron llevados a cabo en un laboratorio particular, GEOTEC. En la figura 20 se muestra una viga ensayada. El registro fotográfico de este proceso se muestra en el Apéndice D.

Figura 20

Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de mortero



Nota: (Autores, 2021).

Al igual que los cubos de mortero, las vigas fueron ensayadas a edades de 7 y 28 días, en las tablas 13 y 14 se muestran los resultados obtenidos, respectivamente. Así mismo, en las figuras 21 y 22 se muestran las representaciones gráficas correspondientes.

Tabla 13*Resistencia a la flexión del mortero a los 7 días*

Cascarilla de arroz (%)	Dimensión Viga (mm)			Carga última (kN)	Esfuerzo último (MPa)
	Alto	Ancho	Largo		
0	40	40	160	1.22	3.42
	40	39	160	1.13	3.16
	40	40	158	1.26	3.53
1	40	40	160	1.57	4.40
	40	40	160	1.37	3.84
	40	39	159	1.46	4.09
3	40	40	160	0.66	1.85
	40	40	159	0.88	2.46
	39	40	160	0.58	1.62
5	40	40	160	0.37	1.04
	40	40	160	0.34	0.95
	39	40	160	0.43	1.20

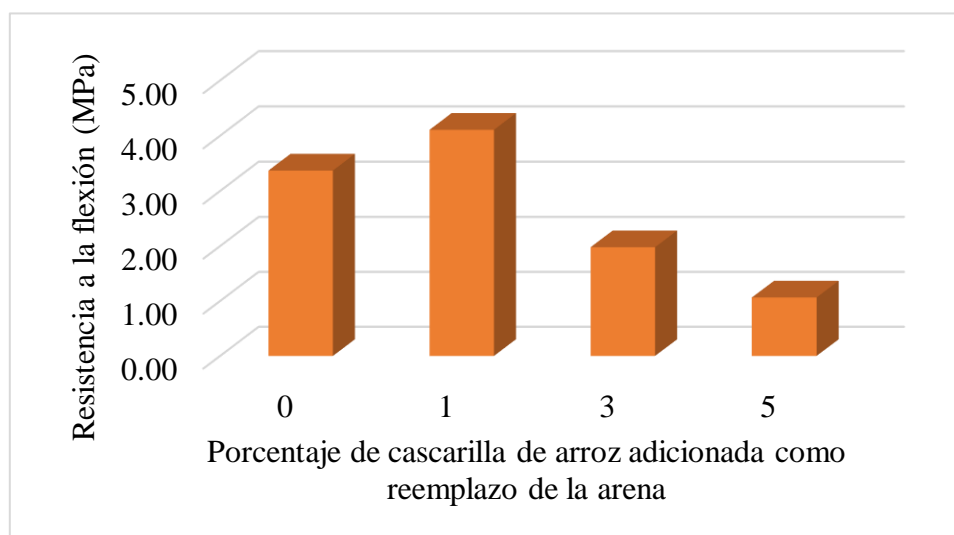
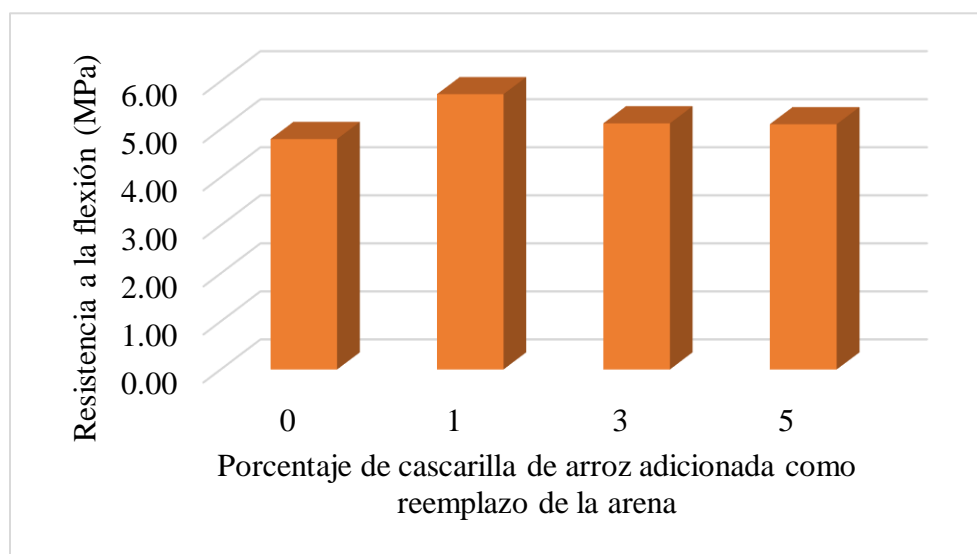
Nota: (Autores, 2021).**Figura 21***Gráfico de la resistencia a la flexión del mortero a los 7 días**Nota:* (Autores, 2021).

Tabla 14*Resistencia a la flexión del mortero a los 28 días*

Cascarilla de arroz (%)	Dimensión Viga (mm)			Carga última (kN)	Esfuerzo último (MPa)
	Largo	Ancho	Largo		
0	40	40	154	1.52	4.26
	39	40	160	1.88	5.26
	39	40	160	1.74	4.87
1	40	40	160	2.07	5.80
	39	40	160	1.95	5.46
	41	40	160	2.12	5.94
3	40	40	160	1.76	4.93
	39	40	160	1.88	5.26
	40	40	160	1.85	5.18
5	40	39	160	1.86	5.21
	40	40	160	1.79	5.01
	39	39	159	1.82	5.10

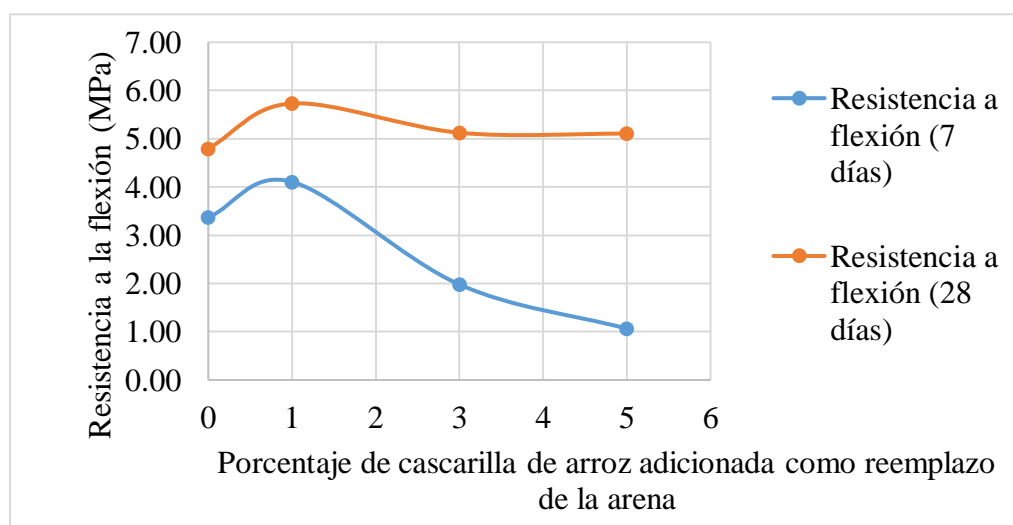
Nota: (Autores, 2021).**Figura 22***Gráfico de la resistencia a la flexión del mortero a los 28 días**Nota:* (Autores, 2021).

En la figura 23 se muestra una comparación entre las resistencias a flexión obtenidas a los 7 y 28 días. Se observan varios aspectos en los resultados obtenidos. En primer lugar, la mayor resistencia a flexión se obtiene en el mortero con adición de 1% de cascarilla de arroz, la cual es incluso mayor a la del mortero sin adición de cascarilla, tanto a los 7 como a los 28 días.

A los 7 días las resistencias a flexión del mortero con adición de 3% y 5% son menores a las del mortero sin adición de cascarilla, sin embargo, a los 28 días los tres grupos de mortero (1%, 3% y 5%) presentan una resistencia superior a la del mortero sin cascarilla. El aumento de resistencia a flexión para los porcentajes de 1%, 3% y 5% respecto al mortero sin cascarilla, es del 19%, 6% y 5%, respectivamente.

Figura 23

Gráfico de la comparación de la resistencia a la flexión del mortero a los 7 y 28 días



Nota: (Autores, 2021).

4.1.3.1 Velocidad de pulso ultrasónico.

Esta propiedad fue obtenida de acuerdo a los lineamientos establecidos en la ASTM E-114 *Estándar practice for ultrasonic pulse-echo straight-beam examination by the contact method*, y la Norma Técnica Colombiana correspondiente, NTC 4325 *Método de ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto*, donde se especifica el procedimiento de ensayo por ultrasonido en probetas de concreto y mortero. En la figura 24 se muestra la ejecución de este ensayo. En el Apéndice E se muestra el registro fotográfico completo de este ensayo.

Figura 24

Ensayo de Velocidad del Pulso Ultrasónico



Nota: (Autores, 2021).

Los ensayos de Pulso Ultrasónico pueden ser realizados a cualquier edad del mortero, sin embargo, se decidió realizar este ensayo a la misma edad en que fueron efectuados los ensayos de resistencia a compresión y a flexión, es decir, a 7 y 28 días. Los resultados obtenidos se ilustran en las tablas 15 y 16, respectivamente. Así mismo, se muestra la representación gráfica de estos resultados en las figuras 25 y 26.

Tabla 15

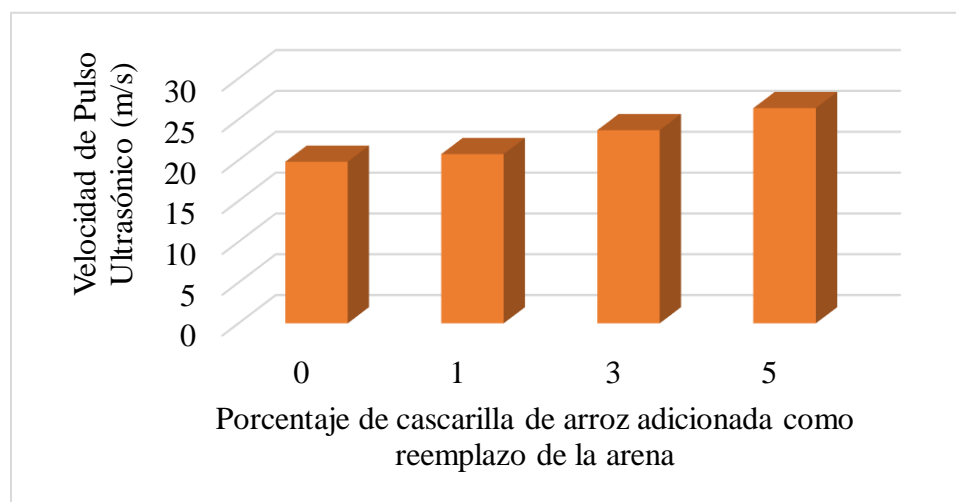
Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 7 días

Cascarilla de arroz (%)	Velocidad de Pulso Ultrasónico			Peso Cubo (gr)
	Lectura	m/s	Promedio (m/s)	
0	1	19.40	19.80	250
	2	19.50		
	3	20.50		
1	1	21.21	20.74	245
	2	20.80		
	3	20.20		
3	1	23.70	23.67	234
	2	24.10		
	3	23.20		
5	1	26.70	26.37	230
	2	26.20		
	3	26.20		

Nota: (Autores, 2021).

Figura 25

Gráfico de la Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 7 días



Nota: (Autores, 2021).

Tabla 16

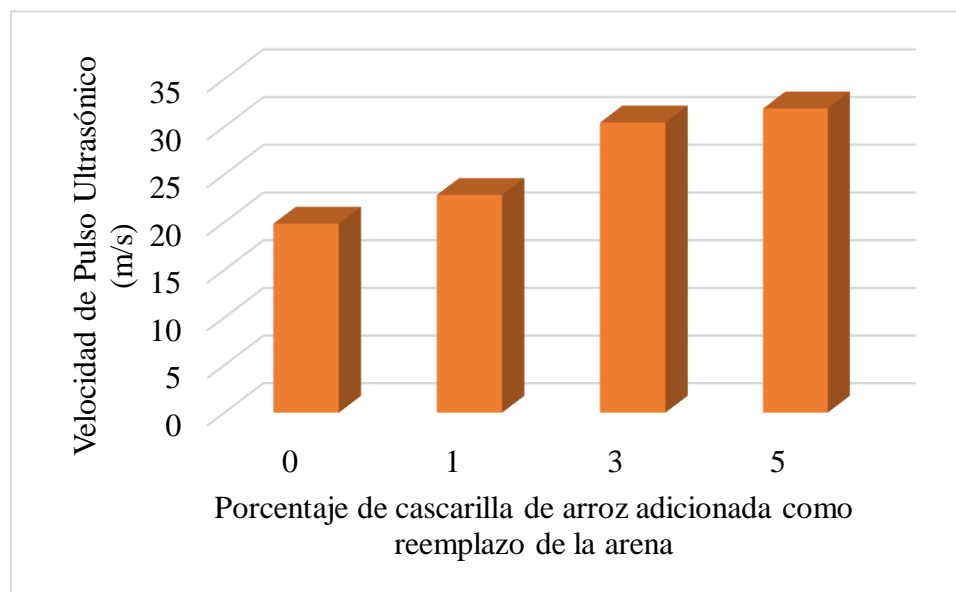
Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 28 días

Cascarilla de arroz (%)	Velocidad de Pulso Ultrasónico			Peso Cubo (gr)
	Lectura	m/s	Promedio (m/s)	
0	1	20.20	21.10	263
	2	21.60		
	3	21.50		
1	1	22.20	21.17	236
	2	20.60		
	3	20.70		
3	1	23.84	24.41	231
	2	24.20		
	3	25.20		
5	1	26.64	27.01	218
	2	27.64		
	3	26.74		

Nota: (Autores, 2021).

Figura 26

Gráfico de la Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 28 días



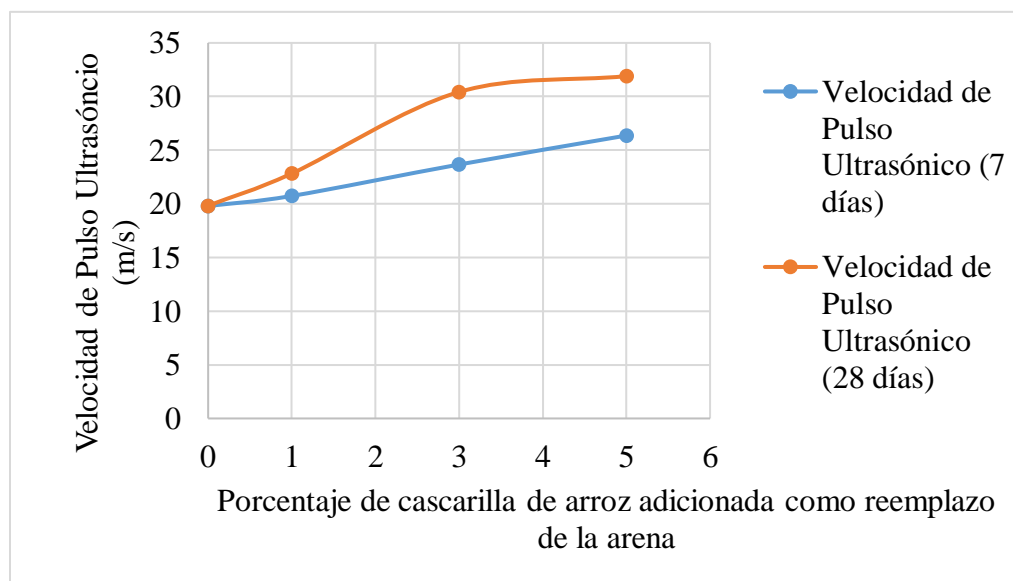
Nota: (Autores, 2021).

Los resultados obtenidos en el ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico muestran una clara proporcionalidad con el aumento del porcentaje de cascarilla de arroz. Estos valores indican que a mayor cantidad de cascarilla de arroz en el mortero, mayor es la porosidad o el contenido de aire presente en el mortero, lo cual se relaciona con la disminución del peso de las probetas ensayadas. En la figura 27 se muestra la comparación gráfica entre los resultados obtenidos, a 7 y 28 días.

Figura 27

Gráfico de la comparación de la Velocidad de Pulso Ultrasónico del mortero a los 7 y 28 días

días



Nota: (Autores, 2021).

4.1.4 Determinar la articulación de la mezcla de mortero por medio del ensayo de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) con el fin de observar las distintas variaciones que se producen en el mortero con la adición de la cascarilla de arroz.

El último procedimiento en efectuarse fue el del Microscopio Electrónico de Barrido o SEM (Scanning Electron Microscope). Este ensayo fue llevado a cabo en el Laboratorio de Materiales de la Universidad EAFIT, ubicado en la ciudad de Medellín, Antioquia. Se ensayaron muestras de mortero con 0% y 1% de cascarilla de arroz. Se decidió efectuar el ensayo en estos

dos porcentajes, dado que el primero muestra las características básicas del mortero, y el segundo por ser el porcentaje de cascarilla de arroz con mejor comportamiento mecánico en el mortero.

Para iniciar el ensayo, se fragmentaron los cubos de mortero, hasta obtener una pequeña muestra, tanto para el mortero de 0% como de 1%, como observa en la figura 28.

Figura 28

Fragmentos obtenidos de los cubos de mortero

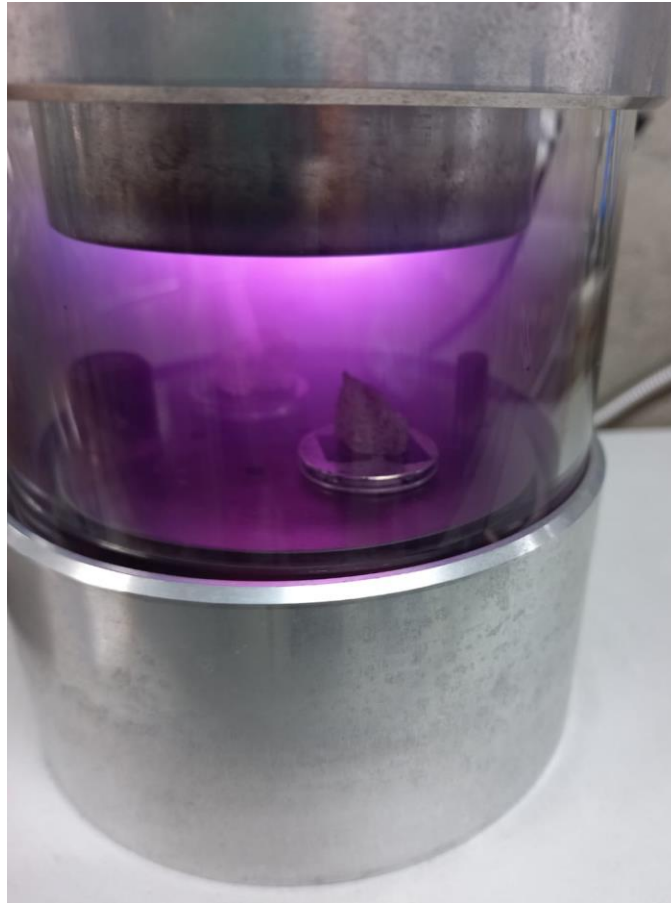


Nota: (Autores, 2021).

Después estas muestras fueron ubicadas en el dispositivo SEM, donde fueron sometidas a un haz de electrones, como se observa en la figura 29.

Figura 29

Fragmentos de mortero sometidos a un haz de electrones

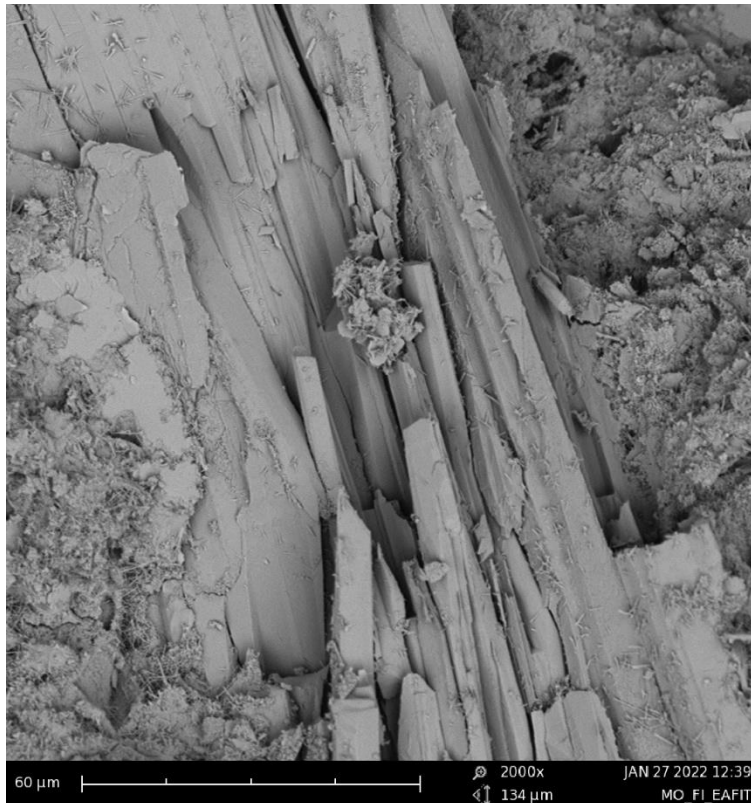


Nota: (Autores, 2021).

Mediante la realización de este ensayo se obtuvieron fotografías de alta resolución, donde se observa la distribución de las partículas que conforman el mortero con y sin adición de cascarilla de arroz. En la figura 30 se observa el aspecto microscópico del mortero sin adición de cascarilla, y en la figura 31 se muestra para el caso del mortero con 1% de cascarilla de arroz.

Figura 30

Composición microscópica del mortero sin adición de cascarilla de arroz

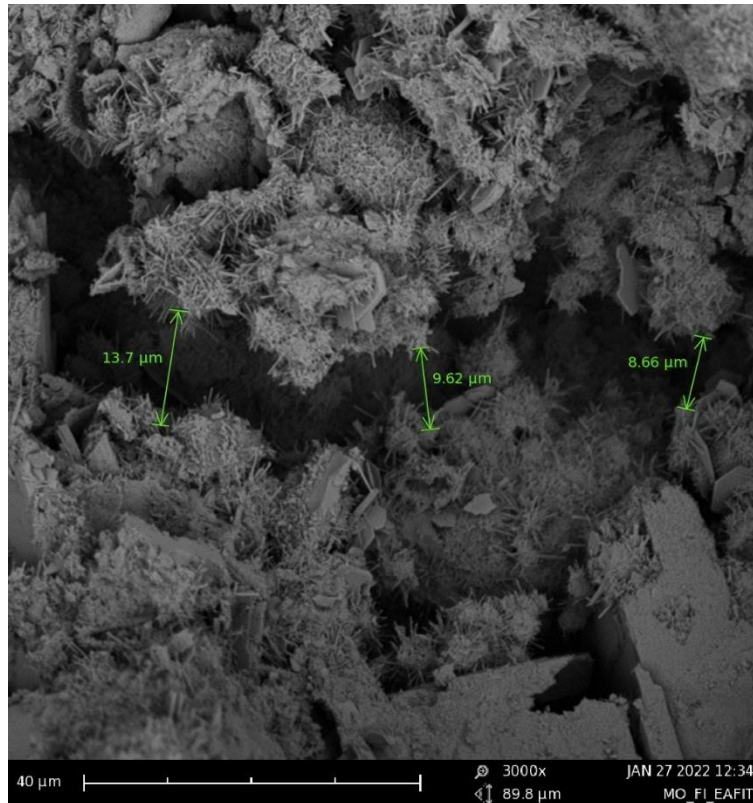


Nota: (Autores, 2021).

Se observa en la figura, superficies planas y lisas, las cuales corresponden al cemento aglutinado en el cubo de mortero. Esto es debido a que durante el proceso de mezclado se forman grumos o cúmulos de cemento los cuales no se integran adecuadamente con la arena. De forma general se observa un aspecto muy sólido, es decir, con poca presencia de vacíos o poros.

Figura 31

Composición microscópica del mortero con adición de 1% de cascarilla de arroz



Nota: (Autores, 2021).

En esta figura se observa, de forma opuesta a la anterior figura, la presencia de espacios vacíos dentro del mortero, lo cual explica porque el mortero con 1% posee una Velocidad de Pulso Ultrasónico superior al mortero sin cascarilla, además de ser levemente menos resistente a compresión. En el Apéndice F se muestra el registro fotográfico completo de este ensayo.

Los resultados del ensayo SEM muestran que la cascarilla de arroz no produce inhibiciones dentro de la mezcla de mortero, ya que, aunque existe un aumento de la porosidad, lo cual puede estar originado en el tamaño de la cascarilla, no se generan alteraciones en las reacciones de hidratación del cemento, por lo que no se ve afectado su fraguado y posterior endurecimiento.

4.1.5 Realizar la comparación de los costos de fabricación del mortero con dosificación 1:4 con y sin adición de cascarilla de arroz para establecer las variaciones económicas que se presentan entre las distintas mezclas.

Como se ha reiterado en diversas ocasiones, el mortero es uno de los materiales más empleados en las construcciones en la actualidad por la diversidad de ventajas que representa, por lo que se encuentra presente en la mayor parte de edificaciones. Con la adición de materiales alternativos, como la cascarilla de arroz, se busca, además de mejorar sus propiedades, el disminuir los costos de fabricación, por tanto, en las siguientes tablas se muestran los precios unitarios del mortero con y sin adición de cascarilla de arroz, acorde a los precios que actualmente se manejan en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

Tabla 17*Valor unitario del mortero con 0% de cascarilla de arroz.*

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cemento	kg	364.00	\$600	\$218,400
Arena	kg	1484.00	\$250	\$371,000
		Valor Unitario		\$589,400

Nota: (Autores, 2021).**Tabla 18***Valor unitario del mortero con 1% de cascarilla de arroz.*

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cemento	kg	364.00	\$600	\$218,400
Arena	kg	1320.76	\$250	\$330,190
Cascarilla de arroz	kg	163.24	\$25	\$4,081
		Valor Unitario		\$552,671

Nota: (Autores, 2021).

Tabla 19

Valor unitario del mortero con 3% de cascarilla de arroz.

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cemento	kg	364.00	\$600	\$218,400
Arena	kg	1291.08	\$250	\$322,770
Cascarilla de arroz	kg	192.92	\$25	\$4,823
Valor Unitario				\$545,993

Nota: (Autores, 2021).

Tabla 20

Valor unitario del mortero con 5% de cascarilla de arroz.

Material	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
Cemento	kg	364.00	\$600	\$218,400
Arena	kg	1261.40	\$250	\$315,350
Cascarilla de arroz	kg	222.60	\$25	\$5,565
Valor Unitario				\$539,315

Nota: (Autores, 2021).

En la tabla 21 se muestra el resumen del valor unitario de los morteros estudiados, y en la figura 31 su representación gráfica correspondiente.

Tabla 21

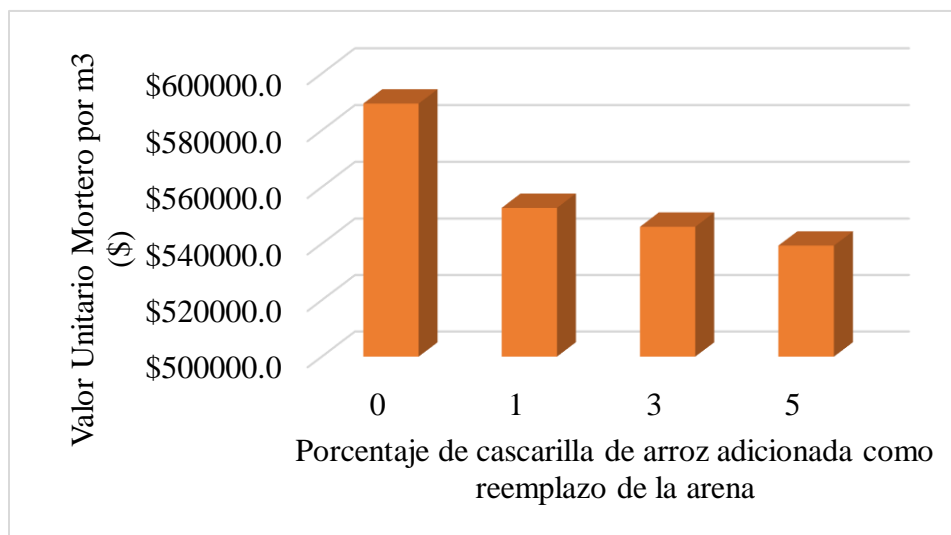
Valor unitario de los morteros estudiados

Cascarilla de arroz (%)	Valor Unitario
0	\$589,400
1	\$552,671
3	\$545,993
5	\$539,315
Valor Unitario	

Nota: (Autores, 2021).

Figura 32

Gráfico del valor unitario del mortero con adición de cascarilla de arroz



Nota: (Autores, 2021).

Los resultados anteriores muestran que la reducción parcial de la arena en el mortero representa una disminución del 6% del valor unitario cuando se realizan adiciones de 1% de cascarilla de arroz, y de 7% y 8% cuando la adición de cascarilla es del 3 y el 5% respectivamente. Esto indica un ahorro económico representativo en aquellas obras donde se empleen grandes cantidades de mortero, convirtiéndose así en una alternativa sustentable para disminuir, por lo menos parcialmente, la alta demanda de recursos no renovable como la arena.

Conclusiones

La caracterización de los materiales empleados para la fabricación del mortero, permitió constatar que estos cumplían con las características necesarias para ser empleados en mezclas de mortero, tomando como parámetros las especificaciones dadas en la NTC 2240 *Agregados para mortero de relleno utilizado en mampostería*. La cascarilla de arroz fue triturada mediante un molino, hasta que obtuvo un tamaño adecuado para ser adicionada al mortero.

El diseño de mezclas permitió la elaboración de los cubos y vigas de mortero en 4 grupos: 0%, 1%, 3% y 5% de cascarilla de arroz, respecto al contenido de arena. Los cubos y vigas fueron fabricados de acuerdo las recomendaciones dadas por las NTC correspondientes para cada tipo de probeta, con lo cual se facilitó la comparación de las propiedades estudiadas en el mortero.

Con la obtención de las propiedades físico-mecánicas del mortero se determinó que todos los porcentajes de cascarilla de arroz empleados disminuyen la resistencia a la compresión, sin embargo, el mortero con 1% de cascarilla alcanza hasta un 95% de la resistencia del mortero sin adiciones, lo que además permite clasificarlo como mortero Tipo O, de acuerdo a la NTC 3329, lo cual garantiza que pueda ser empleada para unidades de mampostería con fines no estructurales.

En cuanto a la resistencia a la flexión, el mortero con cascarilla de arroz presentó un aumento en comparación al mortero sin cascarilla, para todos los porcentajes: 1%, 3% y 5%. El aumento en el valor de esta propiedad oscila entre 5 y 19%. Esto indica que la cascarilla de arroz puede ser un elemento importante en mortero que se encuentren sometidos a esfuerzos constantes de flexión, como pavimentos, andenes, pisos, entre otros.

Los resultados de la Velocidad de Pulso Ultrasónico indican que a mayor contenido de cascarilla de arroz, mayor es el valor de esta propiedad, lo cual está asociado al aumento de la porosidad presente en el mortero, ya que la articulación de la mezcla, empleando imágenes microscópicas obtenidas mediante el ensayo SEM, muestran que la adición de 1% de cascarilla de arroz produce la aparición de poros dentro de las partículas que conforman el mortero, mientras que el mortero sin cascarilla presenta notables cúmulos de cemento.

En lo referente a los costos, los valores unitarios obtenidos muestran que el precio de fabricación del mortero disminuye al aumentar el contenido de cascarilla de arroz, sin embargo, considerando que el 1% fue el porcentaje de cascarilla que mejor comportamiento físico-mecánico presentó, se estima que con este porcentaje de cascarilla en el mortero se lograría una reducción de hasta un 6% en el valor final de la mezcla.

Los resultados de la investigación son interesantes, ya que, aunque no se presentan las propiedades mecánicas y físicas de los morteros tradicionales, se demuestra que el mortero con

cascarilla de arroz puede ser aplicado como componente de construcciones livianas y de uso no portante (aislamientos térmicos, acústicos o rellenos), siendo una alternativa económica y que brinda una gran mejora en el confort de las viviendas.

Se concluye con el desarrollo de esta investigación, que la inclusión de la cascarilla de arroz como reemplazo parcial del agregado fino en el mortero de dosificación 1:4, es adecuada, y que el empleo de 1% de cascarilla garantiza la obtención de propiedades físico-mecánicas que cumplen con los requerimientos exigidos a este material.

Recomendaciones

Se recomienda la realización de ensayos en morteros de diferentes dosificaciones (cemento: arena): 1:2, 1:3, 1:5, 1:6, entre otros, con el fin de determinar las variaciones que presentan las propiedades físico-mecánicas del mortero al variar tanto su dosificación (cemento:arena) como el porcentaje de cascarilla de arroz adicionado.

Referencias

- Albarracín, M., Mendoza, I., & Monroy, R. (2020). *Modelo para la diversificación y sofisticación del sector arrocero en el área metropolitana de Cúcuta*. Tesis de pregrado, Universidad Libre Seccional Cúcuta, Cúcuta, Colombia.
- Aliaga, J. (2018). *Evaluación de cascarilla de arroz y tipos de agregados finos sobre la compresión, sorptividad y densidad de morteros de cemento portland tipo I, Trujillo 2017*. Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.
- Álvarez, L., & Ardila, A. (2011). *La cascarilla de arroz como material de agregado en la producción de prefabricados de mortero seco*. Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Behak, L., & Peres Nuñez, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(1), 34-41.
- Bustillo, M. (2008). Los morteros en la construcción. *Tierra y tecnología*, 33, 31-38.
- Bustos, A. (2018). *Morteros con propiedades mejoradas de ductilidad por adición de fibras de vidrio, carbono y basalto*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Chur, G. (2010). *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería*. Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, San Carlos, Guatemala.

Clavería Vásquez, P. A., Triana Mendoza, D. F., & Varon Ospina, Y. A. (2018). *Caracterización del comportamiento geotécnico de los suelos de origen volcánico estabilizado con ceniza de arroz y bagazo de caña como material para subrasante*. Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué, Colombia.

COLCIENCIAS. (2017). *Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación*. Publicación, COLCIENCIAS- Unidad de Diseño y Evaluación de Políticas.

Demera, S., & Romero, B. (2018). *Evaluación del uso de los residuos de cascarilla de arroz (Oryza sativa L.) como agregado en bloques para la construcción*. Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, Ecuador.

Escuela de Organización Industrial. (2011). *Ecomateriales y Construcción Sostenible*.

Instron. (2020). *Resistencia a la compresión*. Obtenido de Instron.com.ar:

<https://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/c/compressive-strength>

Iturralde, A., & Rocafuerte, A. (2019). *Estudio del comportamiento mecánico del mortero hidráulico y prototipo con adición de viruta de la madera*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.

Lozano, C. (2020). *Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (Oriza sativa) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Yopal, Colombia.

Mafla, A. (2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *INVENTUM*(6), 74-78.

- Mattey, P., Robayo, R., Díaz, J., Delvasto, S., & Monzo, J. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(2), 285-294. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/277329678_APLICACION_DE_CENIZA_DE_CASCARILLA_DE_ARROZ_OBTENIDA_DE_UN_PROCESO_AGRO-INDUSTRIAL_PARA_LA_FABRICACION_DE_BLOQUES_EN_CONCRETO_NO_ESTRUCTURALES
- Novoa, M., Becerra, L., & Vásques, M. (2016). *La ceniza de cascarilla de arroz y su efecto en adhesivos tipo mortero*.
- PNUD. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas.
- Santillán, N. (2020). *Utilización de fibras naturales para el desarrollo de morteros reforzados con fibras*. Escuela de Caminos, Barcelona, España.
- SENA. (2020). *Aprovechamiento de la cascarilla de arroz en materiales de construcción*. Bogotá D.C.
- Serrano, T., et al. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Dyna*, 79(175), 128-136.
- Sierra Aguilar, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. Tesis de pregrado, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
- Sierra, J., et al. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. Tesis de pregrado, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

Universidad de Burgos. (2020). *Microscopía Electrónica de Barrido* .

Uribe, C. (2012). *Materiales y prácticas de construcción sostenible*. Universidad EAFIT,
Medellín, Colombia.

APÉNDICES

Apéndice A. Formato de ensayo de granulometría

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO- I.N.V. E - 123-13 y NTC-2240				
Ws (g)		944,5		
Tamiz		Peso Retenido	%	% que
No.	mm.	(g)	Retenido	Pasa
3/8"	9,50	0,00	0,00	100,00
4	4,76	1,70	0,18	99,82
8	2,50	3,10	0,33	99,49
16	1,25	143,00	15,14	84,35
30	0,63	288,90	30,59	53,76
50	0,36	343,50	36,37	17,40
100	0,15	122,10	12,93	4,47
200	0,08	31,00	3,28	1,19
Pasa 200		11,20	1,19	-

Porcentaje que Pasa

Diámetro que pasa (m.m)

Curva Granulométrica

NTC-2240

<p>Realizó: Katia Milena Cabana Oliveros Maira Alejandra Solano Ojeda</p>	<p>Aprobó MSc. Haidee Yulady Jaramillo Ingeniero Civil</p>
<p>Ocaña - Colombia</p>	

En las figuras 33 y 34, se muestra el registro fotográfico del ensayo de granulometría:

Figura 33

Realización del ensayo de granulometría a la arena



Nota. (Autores, 2021).

Figura 34

Realización del ensayo de granulometría a la arena



Nota. (Autores, 2021).

Apéndice B. Trituración de la cascarilla de arroz.

Figura 35

Molino empleado para la trituración de la cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 36

Comparativa de la cascarilla de arroz triturada y no triturada



Nota. (Autores, 2021).

Apéndice C. Registro fotográfico del ensayo de resistencia a la compresión

Figura 37

Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cubos con 0% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 38

Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cubos con 1% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 39

Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cubos con 3% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 40

Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días en cubos con 5% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 41

Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cubos con 0% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 42

Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cubos con 1% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 43

Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cubos con 3% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 44

Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días en cubos con 5% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Apéndice D. Registro fotográfico del ensayo de resistencia a la flexión

Figura 45

Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días en cubos con 0% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 46

Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días en cubos con 1% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 47

Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días en cubos con 3% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 48

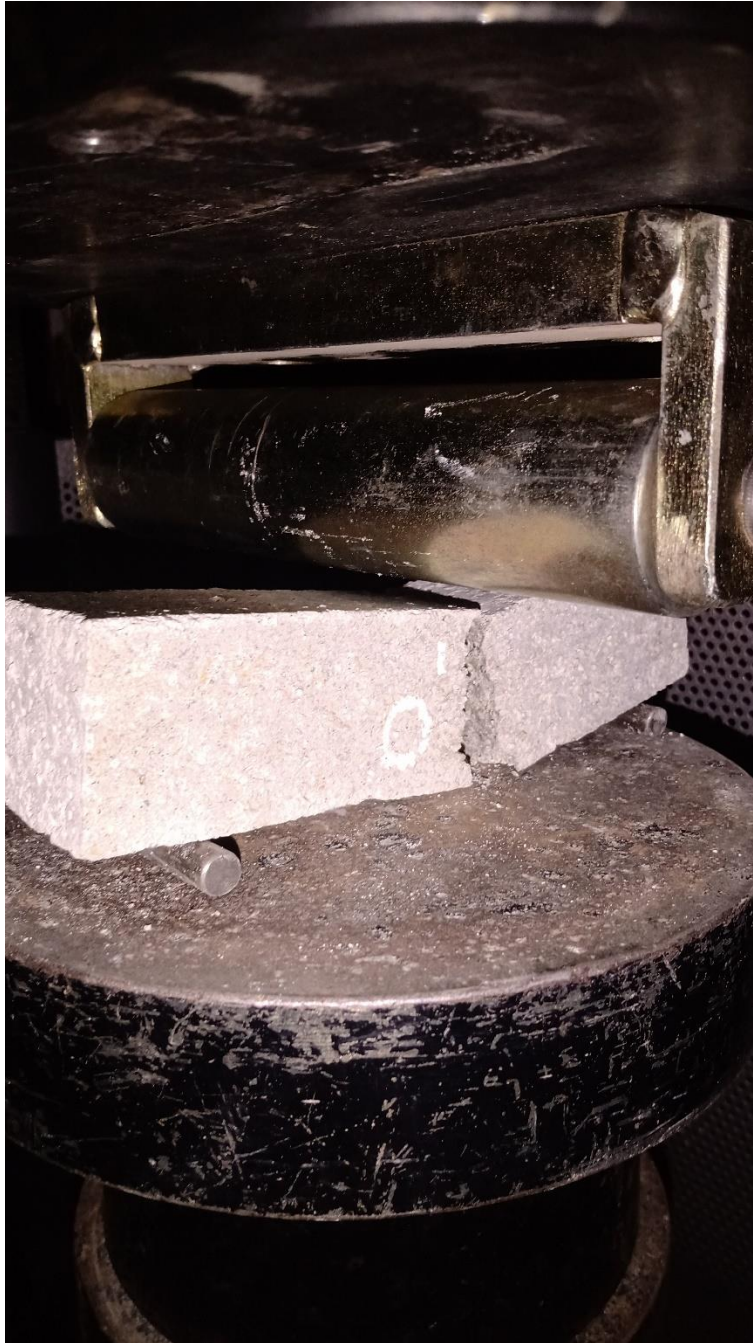
Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días en cubos con 5% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 49

Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días en cubos con 0% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 50

Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días en cubos con 1% de cascarilla de arroz.



Nota. (Autores, 2021).

Figura 51

Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días en cubos con 3% de cascarilla de arroz



Nota. (Autores, 2021).

Figura 52

Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días en cubos con 5% de cascarilla de arroz

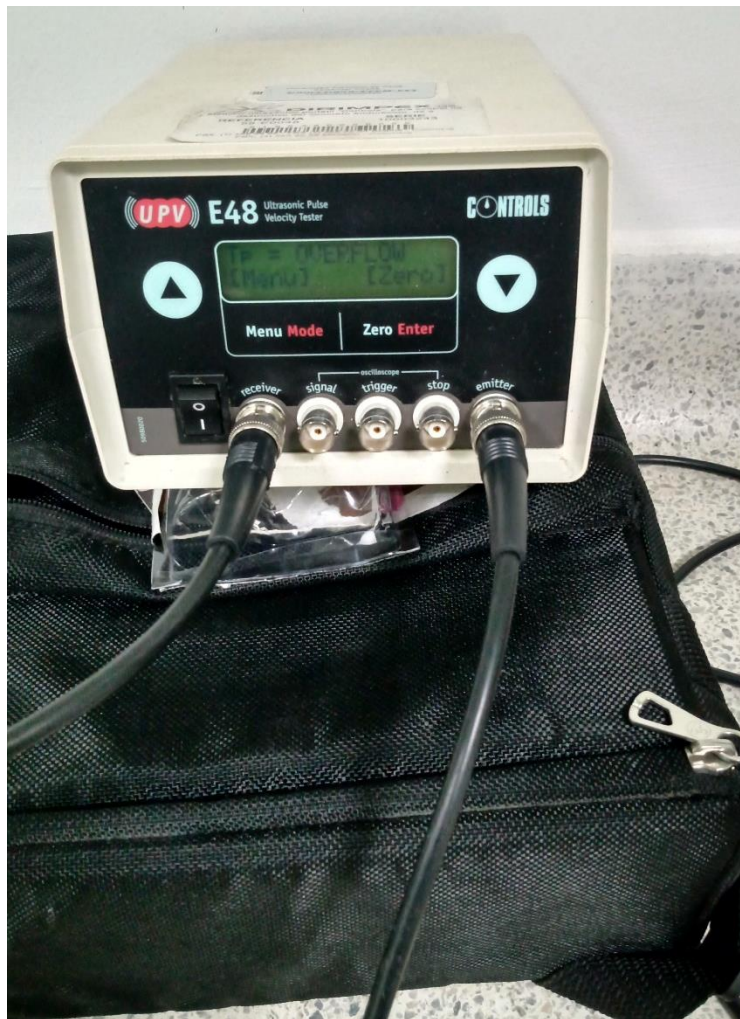


Nota. (Autores, 2021).

Apéndice E. Registro fotográfico del ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico

Figura 53

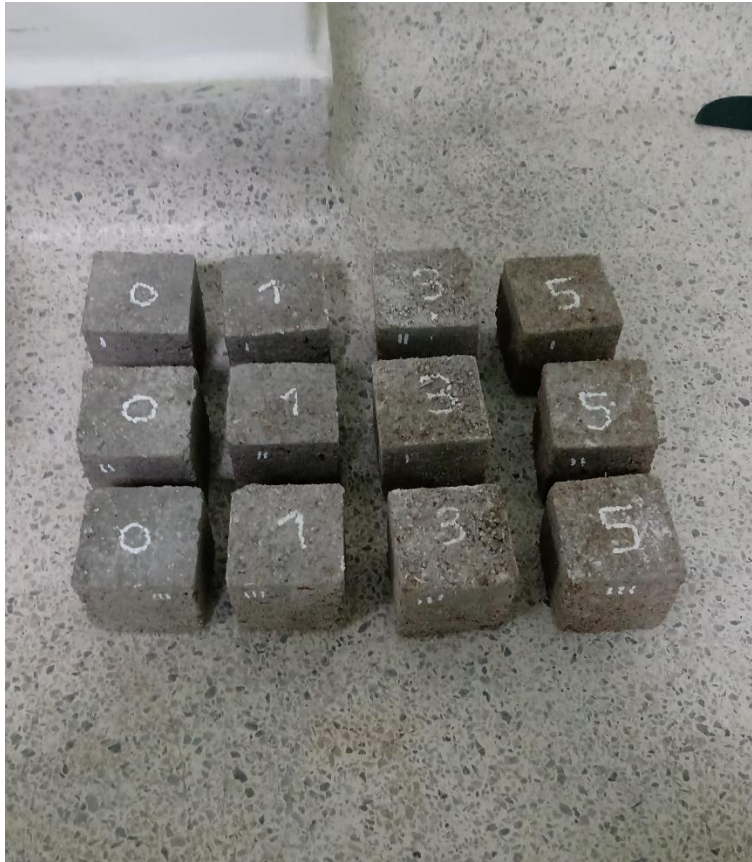
Dispositivo empleado para el ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico



Nota. (Autores, 2021).

Figura 54

Cubos de mortero empleados para el ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico



Nota. (Autores, 2021).

Figura 55

Ejecución del ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico



Nota. (Autores, 2021).

Apéndice F. Registro fotográfico del ensayo SEM

Figura 56

Fragmentos del mortero



Nota. (Autores, 2021).

Figura 57

Ubicación de los fragmentos de mortero en la placa base



Nota. (Autores, 2021).

Figura 58

Ubicación de los fragmentos en el dispositivo SEM



Nota. (Autores, 2021).

Figura 59

Aplicación del haz de electrones a los fragmentos de mortero



Nota. (Autores, 2021).