Estudio de la resistencia de bloques de cemento con aditivo de ceniza volante (CCA) en el Guamo – Tolima

César Adrián Pinto Neira y Jhon Sebastián Caicedo Macareno

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Paalo Andrea Moreno Yanes

Doctora en Ingeniera Química

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Civil

2022

Contenido

Introducción 7

1. Estudio de la resistencia de bloques de cemento con aditivo de ceniza volante (CCA) en el Guamo – Tolima 8

1.1 Formulación del problema 8

2. Objetivos 10

2.1 Objetivo general 10

2.2 Objetivos específicos 10

3. Justificación 10

4. Marco referencial 13

4.1. Marco conceptual 13

4.1.1. El cemento. 13

4.1.2. Materiales cementantes suplementarios subtitulo 14

4.1.3. Morteros 15

4.1.4. Mampostería 16

4.1.5 Resistencia a la compresión 17

5. Metodología 18

6. Resultados 22

7. Conclusiones 33

Referencias 35

Apéndices 39

Lista de tablas

Tabla 1. *Requisitos químicos* 15

Tabla 2. *Usos del Mortero de Cemento* 15

Tabla 3. *Porcentaje cuantitativo en óxidos y elemental de la ceniza* 25

Tabla 4. *Clasificación del mortero tipo S*. 27

Tabla 5. *Cantidad de Material para cada Ladrillo* 27

Tabla 6. *Cantidad de Material para cada Ladrillo con ceniza* 27

Tabla 7. *Resumen Estadístico a los 28 días* 30

Lista de figuras

Figura 1. *Modelo del espécimen serie – 50.* 17

Figura 2. *Etapas de la metodología*.....19

Figura 3. *Ceniza de cascarilla de arroz en laboratorio de Ingeniería Civil.* 23

Figura 4. *Tamizador industrial y ceniza obtenida* 23

Figura 5. *Muflas con la muestra de ceniza antes y después de la calcinación*.....24

Figura 6. *Materiales de Fabricación del ladrillo* 26

Figura 7. *Mezcla de materiales y fabricación de los ladrillos*.....28

Figura 8. *Máquina de bloques vibro compactadora*.....28

Figura 9. *Ensayo de compresión de los ladrillos*.....29

Figura 10. *Gráfica de medias*. 30

Figura 11. *Apariencia y acabado de los ladrillos con ceniza*.....32

Figura 12. *Apariencia y acabado de los ladrillos sin ceniza*.....32

Resumen

En el presente proyecto se realizó la evaluación del comportamiento físico mecánico del bloque de mortero añadiendo y sustituyendo el cemento por un porcentaje determinado de ceniza volante de la cascarilla de arroz (CCA), en el municipio del Guamo, Tolima. Para esto se plantearon 3 etapas, en la primera se realizaron ensayos que determinaron los componentes químicos de la ceniza, resaltando que la suma de los óxidos de sílice, hierro y aluminio fueron superior al 70%, porcentaje mínimo requerido en la norma para determinar al material como puzolánico, pero con una pérdida de quemado mayor al 10 %. En la etapa dos se realizaron los ensayos a compresión de los ladrillos modificados con la CCA y los normales, presentando una desmejora en la resistencia de los ladrillos modificados, debido al alto contenido de carbono de la CCA. En la etapa tres se observó el acabado y apariencia de los ladrillos obteniendo una apariencia óptima que no afectó el rendimiento de los ladrillos.

Palabras clave: ceniza de la cascarilla del arroz, bloques de mortero, normatividad colombiana, ensayo de ruptura, sustitución, adición

Abstract

In the present project, the evaluation of the mechanical physical behavior of the mortar block was carried out by adding and substituting the cement for a certain percentage of fly ash from the rice husk (cca), in the municipality of Guamo, Tolima. For this, 3 stages were proposed, which were divided as follows: In the first stage, tests were carried out to determine the chemical components of the ash, which the sum of silica, iron and aluminum oxides were greater than 70%, the minimum percentage required. in the norm to determine the material as pozzolanic, but with a burning loss greater than 10%. In stage two, the compression tests of the bricks modified with the cca and the normal ones were carried out, presenting a poor improvement in the resistance of the modified bricks, due to the high carbon content of the cca. In stage three, the finish and appearance of the bricks were demonstrated, obtaining an optimal appearance that did not affect the performance of the bricks.

Keywords: rice husk ash, mortar blocks, Colombian regulations, rupture test, substitution, aggregate

Introducción

El cemento representa una de las grandes industrias a nivel Internacional **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en 2019, la producción mundial de cemento fue de 4.100 millones de toneladas; en el mismo año Colombia reportó una cifra de cerca de 13 millones de toneladas de cemento ocupando la tercera casilla en producción a nivel Latinoamérica. Las emisiones de CO2 del cemento tradicional son muy altas 637 kg de CO2 por tonelada de producción de cemento [2]. Entre las alternativas para reducir las emisiones de CO_2 manteniendo las propiedades del hormigón y reduciendo el contenido de cemento son los materiales orgánicos suplementarios. La industria arrocera colombiana produce 400’000 toneladas de cascarilla de arroz al año, una gran proporción de esta fibra es incinerada infructuosamente o arrojada a cursos de agua, lo cual repercute negativamente en el ecosistema **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. La mayor producción de arroz en Colombia a nivel departamental se presentó en Tolima con 37,1 %, [3]. Cabe resaltar que la cascarilla de arroz es el residuo más importante y abundante de la producción, pues representa el 22% del producto final.

El comportamiento físico mecánico de un bloque de mortero es importante para su resistencia, por tanto, se evaluó esta propiedad sustituyendo un porcentaje determinado del cemento con ceniza volante de cascarilla de arroz, haciendo uso del residuo como material suplementario.

La ceniza de cascarilla de arroz presenta varios componentes químicos, que pasándolos por varios procesos de calcinación se presentan similares a las propiedades químicas del cemento y se utilizan como material cementante suplementario. Así mismo se comprueba la resistencia de los ladrillos y comparar las diferencias entre las resistencias de los normales y los modificados con

ceniza. El resultado final de los ladrillos es importante en cuanto apariencia y acabado, estos factores son determinantes para que los ladrillos puedan desarrollar bien la función en la estructura.

1. Estudio de la resistencia de bloques de cemento con aditivo de ceniza volante (CCA) en el Guamo – Tolima

1.1 Formulación del problema

Colombia es un país agrícola con 42,9 millones de hectáreas cultivables, en donde se encuentran: el arroz con 22,2 millones de hectáreas; el cacao con 21,3 millones; caucho con 18,9 millones; granos como el maíz con 18,7 millones en zonas templadas o cálidas; y por último la papa con 1,9 millones [5].

Los principales departamentos productores de arroz son: Tolima, Casanare, Huila y Meta, con la participación más alta en la producción a nivel departamental se presentó Tolima con 26.6 %, seguido por los demás Departamentos con 42.4 % y Huila con 12.3%, Meta con 9.6%, Casanare con 9.1% [3].

La industria arrocera Colombiana produce 400’000 toneladas de cascarilla de arroz al año, de las cuales cerca de un 15% es aprovechado como combustible y otro tanto como elemento para esparcir en establos, lo que significa que una gran proporción de esta fibra es incinerada infructuosamente o arrojada a cursos de agua, lo cual repercute negativamente en el ecosistema, dadas las exigentes condiciones que requiere su combustión completa y su elevada resistencia al ataque biótico, respectivamente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Cabe resaltar que la cascarilla de arroz es el residuo más importante y abundante de la producción, pues representa el 22% del producto final [3].

La cascarilla del arroz representa un sobrecosto para la industria arrocera, puesto que se debe pagar para eliminar el desecho producido. Éste derivado en su proceso de quema, es fuente de energía debido a su alto contenido de celulosa y lignina que presenta; Su alto contenido de sílice hace que pueda emplearse también como reemplazo del cuarzo en el gres. También se ha optado por utilizar la ceniza como abono o simplemente botarse en zonas inhóspitas, generando un impacto ambiental desfavorable tanto en el suelo como también en fuentes hídricas. [6]

Dada la composición química de la ceniza que se obtiene como producto de la combustión de la cascarilla de arroz, ha sido utilizada como elemento puzolánico en la fabricación de cementos y concretos. La ceniza de cáscara de arroz sometida a una temperatura de 400°c, logra una calcinación del 93% de Óxido de Sílice, por ello al reaccionar con el óxido de sílice se produce hidróxido de calcio que, si es un elemento cementico, lo cual contribuye a una mejora en la resistencia del concreto [7].

Otros estudios indican que la adición del 10% de ceniza volante, se considera el porcentaje óptimo de adición ya que incrementa la resistencia mecánica del mortero en un 35% a edades de 28 días de curado y genera efectos positivos en las propiedades de durabilidad [8].

Observando el impacto ambiental desde el punto de vista de la ingeniería, se reutilizó la ceniza volante (Producto de la quema de la cascarilla de arroz) en la fabricación de bloques de cemento para mampostería, ya que su alto contenido de sílice genera beneficios para el mejoramiento de las propiedades del cemento y por ende la resistencia a la compresión del mortero, junto con el aprovechamiento de la materia resultante, se obtienen aspectos favorables en cuanto a costos, impermeabilidad, durabilidad y su baja combustión; Además se estarían empleando técnicas de solución sostenible al utilizar un producto que para la industria del arroz puede ser un

sobrecosto, pero que para la construcción representa una nueva alternativa para el aprovechamiento e implementación de materia orgánica en las obras.

Con la implementación de la ceniza volante se planea sustituir un porcentaje (5% -10%) de cemento en la dosificación del mortero, fabricando los bloques de cemento en una maquina ponedora vibro compactadora, rigiendo el procedimiento por la Norma Técnica Colombiana.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento físico mecánico del bloque de mortero sustituyendo el cemento por un porcentaje determinado de ceniza volante de la cascarilla de arroz.

2.2 Objetivos específicos

- Obtener la ceniza de una calidad adecuada para ser utilizada como material cementante suplementario.
- Comparar la resistencia a compresión de bloques de mortero tradicionales con bloques de mortero modificados con la ceniza de cascarilla de arroz como material cementante suplementario.
- Analizar el acabado y la apariencia del bloque de cemento sin aditivo y con aditivo de la ceniza de cascarilla de arroz.

3. Justificación

La industria arrocera es una de las actividades más importantes en el país y a nivel regional como el Tolima Grande, la cascarilla de arroz es el mayor residuo resultante de la producción de este grano. El residuo generado en la producción arrocera es utilizado en su mayoría como materia fertilizante para la tierra, también como material de combustión, sin embargo, gran parte de esta componente resultante es quemado y botado alrededor de 7,2 ton/ ha al año por los mismos molinos arroceros en zonas de desechos de materia orgánica. Muchas veces, éste restante representa un sobrecosto a la hora de deshacerse del mismo, por ello, se busca la manera de reutilizarlo sin generar costo alguno tanto para las empresas como para nosotros como investigadores, ya que las compañías arroceras optan por proporcionar la ceniza de esta cascarilla [9].

De acuerdo con investigaciones técnicas como la de Camargo, N. en su artículo "La ceniza de cascarilla del arroz como aporte a la resistencia del concreto hidráulico" y Huaquisto. S y Belizario. G, 2018 en el artículo "Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento", las propiedades químicas de la ceniza volante producto de la cascarilla de arroz, contribuyen al mejoramiento del comportamiento mecánico del mortero; debido a su alto contenido de sílice el cual es un elemento fundamental en la producción del material cementante. Con base en ello, se implementa el uso de ceniza volante para la fabricación de bloques de cemento para aplicaciones no estructurales, con el propósito de indagar y comprobar los resultados de la utilización de este componente orgánico como sustituto de un porcentaje de la mezcla. Dichos resultados, buscan tenerse en cuenta para una posible implementación o no de este tipo de residuos en futuras técnicas constructivas de muros de cerramiento, puesto que, al reutilizar la ceniza, se está cumpliendo también con el objetivo número 12, "Producción y consumo

responsable", de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU implementados en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) Colombia [10], [23], [24].

La gestión de residuos reutilizados evita a su vez la disposición de botaderos para residuos orgánicos promoviendo la implementación de estos como material sustituto en la fabricación de nuevos componentes que reduzcan significativamente la generación de CO_2 causado por la construcción al medio ambiente y en cumplimiento de la investigación al Plan Departamental de Desarrollo del Tolima en el parágrafo número 4, lo que permite la innovación de proyectos prósperos en compromiso a la protección y cultura ambiental para el departamento [11].

Con esta investigación se procura ampliar la competencia investigativa, empleando metodologías de búsqueda que conlleven a adquirir más conocimientos en el proceso técnico de la implementación de la ceniza de la cascarilla de arroz para la fabricación de bloques de cemento no estructurales, con el objetivo de contribuir en la investigación general aportando ideas, formulando hipótesis y generando conclusiones para futuros estudios y junto a esto priorizar los propósitos de Naciones Unidas sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el cual esta investigación tiene como objetivo principal la producción y consumo responsable que se referencia en la posición número 12. Por lo tanto, se emplea una gestión sostenible, un uso eficiente en modalidad de desarrollo de la ceniza de la cascarilla del arroz hacia los bloques de mortero siendo un pilar importante para el sector de la construcción y amigable del medio ambiente [12].

La economía circular es un modelo de producción y consumo que incluye compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes en la medida de lo posible para crear valor. De esta forma, se alarga el ciclo de vida del producto. En términos concretos, esto significa minimizar los residuos. Cuando un producto llega al final de su vida, sus materiales se retienen en la economía tanto como sea posible. Se pueden reutilizar de

forma eficiente y continua, creando valor añadido, la investigación promueve en búsqueda de renovar un residuo orgánico transformándose mediante una calcinación a un material cementante en beneficio al mejoramiento de la resistencia del mortero y reduciendo significativamente la contaminación de CO_2 [13].

4. Marco Referencial

4.1 Marco Conceptual

A continuación, se describen los conceptos relacionados que fundamentas el crecimiento del proyecto.

Se describen en principio el concepto del cemento, como está compuesto, y emisiones; así mismo se desarrolla la parte de los materiales cementantes suplementarios y elementos puzolánicos, como están compuestos y cómo funcionan. Teniendo en cuenta estas definiciones, se prosigue a describir los morteros, los tipos y sus usos. Acorde al proyecto se define la parte de la mampostería que es importante para el desarrollo del proyecto, los tipos de unidades y la definición de los especímenes que se implementaron en el desarrollo del proyecto.

4.1.1 El cemento

El cemento es un material inorgánico compuesto en un 80% por el Silicato Tricálcico ($3CaO{\cdot}SiO_2$) comúnmente llamado Alita y el silicato Bicálcico ($2CaO{\cdot}SiO_2$) llamado Belita, estos compuestos reaccionan con el agua para formar silicatos hidratados e Hidróxido de Calcio ($Ca(OH)_2$); el silicato hidratado es el que funciona como aglomerante en las mezclas de morteros y concretos [13].

Según el informe de actividad publicado por la Asociación Europea del Cemento, CEMBUREAU [1], en 2019, la producción mundial de cemento fue de 4.100 millones de toneladas; en el mismo año Colombia reportó una cifra de cerca de 13 millones de toneladas de cemento lo cual lo posiciona como el tercer país de América latina en producción de cemento detrás de Brasil (54.4 millones de toneladas) y México (39.9 millones de toneladas). Las emisiones de CO_2 del cemento tradicional son muy altas 637 kg de CO_2 por tonelada de producción de cemento. FICEM [2].

Entre las alternativas para reducir las emisiones de CO_2 manteniendo las propiedades del hormigón y reduciendo el contenido de cemento, está la adición de materiales cementicos suplementarios (SCM) [15].

4.1.2 Materiales Cementantes Suplementarios subtitulo

La ASTM C125-16 [16] define un SCM como un material inorgánico que contribuye a las propiedades de una mezcla cementosa a través de la actividad hidráulica o puzolánica, o ambas.

Entre los materiales cementantes suplementarios sobresalen los materiales puzolánicos

4.1.2.1 Elementos puzolánicos. Los materiales puzolánicos son sustancias naturales de composición sílice o sillico-aluminosa o combinación de ambas. Las reacciones puzolánicas son aquellas que se dan entre el Óxido de Sílice (SiO_2) y el Hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$), subproducto de la reacción química del agua y el cemento para formar silicatos hidratados [15].

Estos materiales reaccionan con el hidróxido de calcio lo que provoca un aumento del hidrato de silicato de calcio en la pasta de cemento [15].

Estos materiales no endurecen por sí mismos cuando se amasan con agua, pero finamente molidos y en presencia de agua reaccionan con el hidróxido cálcico ($CaOH_2$) disuelto para formar compuestos de silicato de calcio (Ca_2SiO_4) y aluminato de calcio ($Al_2O_3 \cdot 3CaO$), capaces de desarrollar resistencia, reacción parecida a la del cemento [17].

Los requisitos de composición química según el NTC 3493 se presentan en la

Tabla 1 [18], clasifica las cenizas volantes o puzolanas naturales de acuerdo a su uso y composición química de la siguiente manera:

Tabla 1. *Requisitos químicos*

Requisitos	Clase de Aditivo Mineral
Dióxido De Sílice (Sio_2) + Óxido De Aluminio (Al_2O_3) + Óxido De Hierro (Fe2O3). (%Min).	70.0
Trióxido de azufre (So_3). (% máx.).	4.0
Pérdida al fuego, (% máx.)	10.0

Tomado de [18, p.4].

4.1.3 Morteros

El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es hormigón sin el agregado grueso.

4.1.3.1 Tipos y usos. Se definen los tipos de morteros a continuación en *Tabla 2:*

Tabla 2. *Usos del Mortero de Cemento*

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muro y baldosines. Pañetes finos

Mortero	Usos
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos
1:6 Y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos
1:8 Y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Tomado de [29].

4.1.4 Mampostería

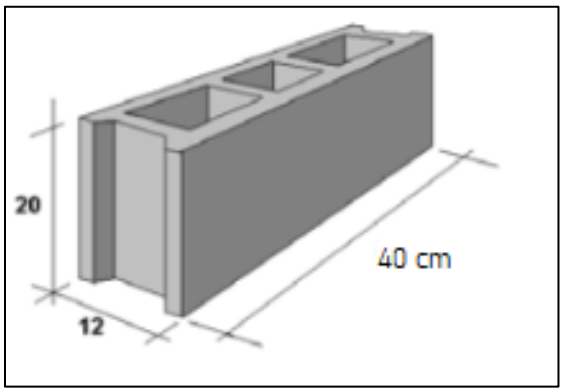
Las unidades de mampostería se pueden encontrar en cerámica (arcilla), sílico calcárea u hormigón, debido a sus propiedades mecánicas en cuanto a resistencia, rigidez y durabilidad se pueden utilizar en diferentes construcciones. En diversas estructuras de ingeniería civil, las unidades de mampostería pueden tener perforaciones verticales, perforaciones horizontales o simplemente macizas, su uso se debe a la configuración de los muros y a las características de sismicidad del área en la que se va a construir la estructura [20].

Las Unidades de concreto, de tipo perforada, se realizan luego de una dosis suficiente de agua, agregados y materiales cementicos, el proceso de fabricación se basa en la preparación de una mezcla consistente con propiedades específicas de acuerdo con las necesidades de resistencia deseadas, la mezcla se pasa por un sistema de compresión proceso el cual e introduce en el molde y luego se retira para el posterior proceso de curado. Los bloques de hormigón pueden ser de peso ligero, medio y peso normal [20].

El bloque de concreto es utilizado ampliamente en la construcción, desde viviendas de interés social a edificaciones comerciales e industriales; sin embargo, para el caso de estudio de esta investigación, en la fabricación del bloque no se tendrá en cuenta el uso de material triturado grueso. Además, su proceso de construcción consiste en la vibro-compactación por parte de una maquina ponedora de bloques [20].

El bloque serie 50 se caracteriza por tener las siguientes dimensiones modulares de 12x20x40 cm con un peso que oscila entre los 8,5 y 10 kg dependiendo de la relación de la mezcla escogida y el porcentaje de sustitución de ceniza volante [20].

Figura 1. *Modelo del espécimen serie – 50*



Tomado de [28].

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 3356 [18], en la sección de clasificación:

La caracterización del mortero es concretada en la Norma Técnica Colombiana NTC 3356 Concretos, Mortero Premezclado Para Mampostería con el tipo de mortero S con la mínima resistencia a compresión de F´C= 12.5 MPa a los 28 días de curados. (Ver *Apéndice B)*.

En concreto, estos conceptos argumentan la presentación y desarrollo de una manera más clara la información específica sobre el tema principal que se trató en el proyecto. A continuación, se describen las estepas que se llevaron a cabo para la realización del proyecto y posteriormente se presentan los resultados y análisis encontrados en las etapas especificadas.

4.1.5 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm2, MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

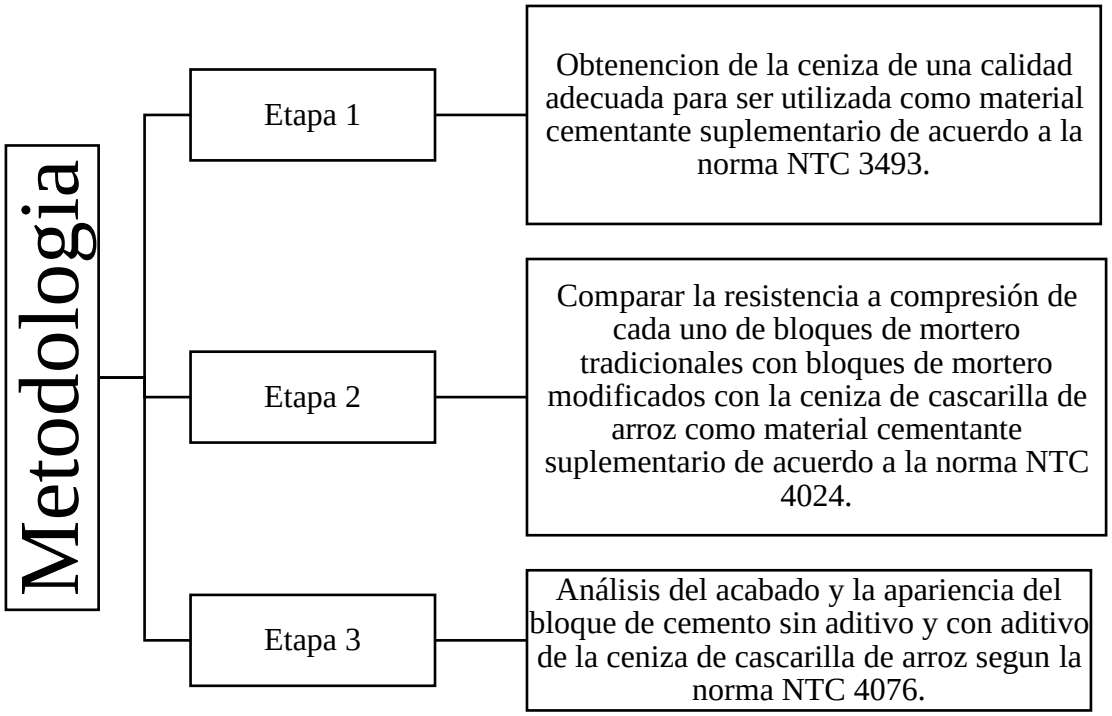
Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada (f´c) para una estructura determinada **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

4.1.5.1 Ensayo de resistencia a la compresión. En la norma NTC 4024 Prefabricados De Concreto. Muestreo Y Ensayo De Prefabricados De Concreto No Reforzados, Vibro compactados, establece los procedimientos para el muestreo y el ensayo de prefabricados de concreto, tales como: unidades de perforación vertical o macizas (bloques y ladrillos) para mampostería de concreto y chapas de concreto [26].

5. Metodología

Se desarrolló una investigación de tipo descriptivo, tuvo como propósito medir la resistencia a compresión de los bloques de mortero con 5% de sustitución de material cementante en la relación de la mezcla. En la figura 2 se describen las etapas realizadas, cada etapa corresponde al cumplimiento de un objetivo del proyecto.

Figura 2. *Etapas de la metodología*



Etapa 1: Obtención de la ceniza de una calidad adecuada para ser utilizada como material cementante suplementario

Esta etapa dio cumplimiento al objetivo específico 1.

Para obtener la ceniza de una calidad adecuada para ser utilizada como material cementante suplementaria, se siguieron los siguientes pasos:

Obtención de la ceniza: Se visitó el molino Sonora del municipio del Guamo- Tolima y se recolectó la ceniza de cascarilla de arroz. Posteriormente se trasladó el material al laboratorio de ingeniería civil de la Santo Tomás Bucaramanga ubicado en Piedecuesta.

- Tamizado de la ceniza: Se tamizó la ceniza utilizando los tamices del número 10 al 200, con el fin de obtener una muestra final con un tamaño de partícula inferior a 200 micras con el fin de poder compararla con el tamaño de partícula del cemento.

- Calcinación de la ceniza: El material obtenido fue calcinado en una mufla a 700°C durante 3 horas. Esta etapa fue realizada en el laboratorio de química de la Universidad Santo Tomás sede Floridablanca.
- Ensayo de laboratorio de rayos X: Con el fin de determinar la composición de óxidos de la ceniza calcinada se realizó un ensayo de rayos X. Este ensayo fue un servicio técnico prestado por el laboratorio de rayos X de la UIS.

Etapa 2: Comparar la resistencia a compresión de bloques de mortero tradicionales con bloques de mortero modificados con la ceniza de cascarilla de arroz como material cementante suplementario

Esta etapa dio cumplimiento al objetivo específico 2 y se realizó de acuerdo con la norma NTC 3823 [21].

Parala elaboración y fallado de los ladrillos se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

- Obtención de los materiales para la mezcla: Se obtuvo un bulto de cemento, dos cuñetes de arena, la ceniza calcinada y agua.
- Indicar la relación del tipo de mortero: Se revisó la Norma NTC 3356 [19], donde clasifica los morteros según sus características mecánicas y físicas (ver ***Apéndice A***); de acuerdo con la tabla 1 se procedió a la selección del tipo de mortero basado en resistencia a la fuerza a compresión y dependiendo al uso técnico en obra del mortero con el fin de llegar a escoger la relación especifica de mortero.
- Mezcla de los materiales para los ladrillos: Para cada ladrillo se mezcló de acuerdo con la relación de tipo de mortero deseada (Relación 1:4). Se realizaron ladrillos con materiales tradicionales y se realizaron ladrillos con un remplazo del 5% de ceniza en la cantidad de cemento.

- Vibrado y compactación en Máquina: Posteriormente a tener la mezcla con relación 1:4 lista, se introdujo el material en la máquina de vibrado y posteriormente se compactaron los ladrillos.
- Curado y Prueba de Resistencia: Se tuvieron en cuenta dos edades de curado y fallado para los ladrillos normales y con ceniza, 7 y 28 días.

Etapa 3: Análisis del acabado y la apariencia del bloque de cemento sin aditivo y con aditivo de la ceniza de cascarilla de arroz

Esta etapa cumple con el objetivo específico 3

En el proceso de elaboración de los bloques de mortero se debió tener en cuenta la apariencia y el acabado según la norma NTC 4076 [22] Sección 4.7, para determinar que no presente defectos como fisura, porosidad, desportilladuras a simple vista que pudieran presentar los ladrillos con y sin CCA.

Para esa etapa se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Observación de los ladrillos durante la fabricación y fase de curado de los primeros días después de haberlos elaborado.

Todas las unidades deben estar sanas, no deben presentar fisuras ni otros defectos que interfieran con el proceso apropiado de colocación de la unidad, o que afecten la resistencia o permanencia (estabilidad) de la construcción. La presencia de fisuras, inherentes al proceso de fabricación, o de desportillamientos pequeños, debido a los métodos corrientes de manejo, tanto durante el transporte a la obra como durante su entrega no se deben tomar como argumento de rechazo.

- El cinco por ciento (5 %) del envío puede tener pequeñas fisuras o desportilladuras, no mayores de 13 mm en cualquier dimensión, o fisuras de no más de 0,5 mm de ancho y una longitud de no más del 25 % de la altura nominal de la unidad.
- Las unidades que se van a utilizar como base para un recubrimiento posterior deben tener una superficie con una textura abierta que permita una buena adherencia. Cuando las chapas se van a utilizar en exteriores, la superficie conformada con ellas no debe presentar desportilladuras ni grietas, ni se permiten otras imperfecciones visibles cuando se observan desde una distancia igual o mayor de 6 m, con una fuente de luz difusa.
- El acabado de las paredes de las unidades, que van a estar expuestas, debe estar conforme con una muestra aprobada que conste de, al menos, dos unidades que representan el intervalo en la textura y color permitido.

6. Resultados

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a los pasos metodológicos reportados en la sección anterior.

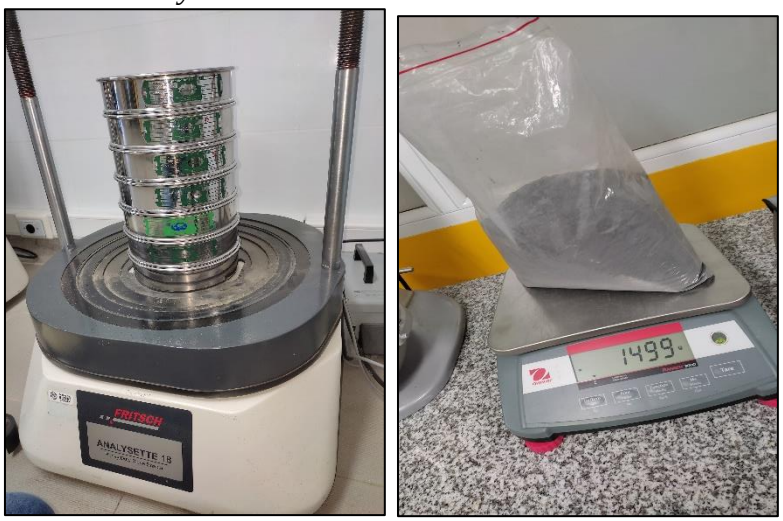
Etapa 1. Obtención de la ceniza de cascarilla de arroz

- Obtención de la ceniza: En la visita realizada al molino Sonora del municipio del Guamo-Tolima, se recolectaron 25 kg de ceniza de cascarilla de arroz. En la *Figura 3* se presenta una foto de la ceniza cuando fue trasladada al laboratorio de ingeniería civil de la Santo Tomás Bucaramanga, ubicada en el municipio de Piedecuesta.

Figura 3. *Ceniza de cascarilla de arroz en laboratorio de Ingeniería Civil.*

- Tamizado de la ceniza: De los 25 kg iniciales, solo el 6.6 % del material paso por el tamiz número 200 (1.65 kg). En la *Figura 4* se presentan la tamizadora utilizada y la ceniza con el tamaño de partícula requeridora.

Figura 4. *Tamizador industrial y ceniza obtenida*



- Calcinación de la ceniza: De los 1650 g obtenidos, se calcinaron 650g de la ceniza.

- Posterior a la calcinación se obtuvieron 630 g, por lo tanto, la perdida de material orgánico fue del 3% (20 g). En la
- *Figura* **5** se presentan fotografias del proceso de calcinación y la comparación de las cenizas antes y despues de calcinar. Se observa un cambio de color puesto que las cenizas ya calcinadas tienen un tono gris claro y las ceniza sin calcinar presenta un color oscuro debido al mayor porcentaje de carbono.

Figura 5. *Muflas con la muestra de ceniza antes y después de la calcinación.*

- Ensayo de laboratorio de rayos X: Se realizó el estudio de caracterización y composición química de la muestra de ceniza de cascarilla de arroz en el laboratorio de rayos X de la UIS (***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***) con los resultados entregados por el laboratorio). Los resultados se presentan en la *Tabla **3***. Se observa que el componente mayoritario es el dióxido de sílice con un 77%, seguido del Óxido de Potasio con un 1.83%. Los otros óxidos presentes se encuentran en un porcentaje inferior al 1%. Las siglas LOI corresponden a las pérdidas por ignición de la muestra. Esto significa que, pese a la calcinación realizada en el paso anterior, las muestras tienen un 18, 85% que corresponde a material orgánico.

Tabla 3. *Porcentaje cuantitativo en óxidos y elemental de la ceniza*

Compuesto	Concentracion
SiO_2	77,24%
K_2O	1,83%
P_2O_5	0,73%
CaO	0,40%
MgO	0,38%
MnO	0,14%
SO_3	0,15%
AL_2O_3	0,10%
Fe_2O_3	0,07%
CuO	0,06%
ZnO	0,03%
Cl	0,02%
LOI	18,85%
TOTAL	100,00%

De acuerdo con la Norma NTC 3493 “Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento Pórtland”, las cenizas deben cumplir con unos requisitos de composición química para ser consideradas puzolánicas, en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*** se presentan estos requerimientos.

Se observa que la ceniza obtenida cumple dos de los tres requisitos, puesto que la suma de los óxidos de sílice, hierro y aluminio es superior al 70%, siendo 77,41%; el contenido de azufre es significativamente inferior al 4%, siendo de solo el 0,15%; sin embargo, no cumple el tercer requisito puesto que su contenido de material orgánico (perdida al fuego) es mayor del 10%, siendo del 18,85%.

Etapa 2. Evaluación de la resistencia a compresión de 10 bloques

- Obtención de los materiales óptimos para la mezcla:

Para la elaboración de los ladrillos de mortero se obtuvo un bulto de cemento Argos tipo Estructural de 42.5 kg, dos cuñetes de arena de 18 lts respectivamente, 560 g de CCA calcinada y agua.

Figura 6. *Materiales de Fabricación del ladrillo*

- Indicar la relación del tipo de mortero a utilizar según sea su clasificación de acuerdo con su resistencia

La relación de mortero fue escogida con base al cumplimiento a la Normatividad NTC 3356 Mortero Premezclado Para Mampostería **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se tuvo en cuenta los factores tanto en materiales como la clasificación de morteros, resistencia a compresión y finalmente al uso técnico practico en obra.

Las características de los dos materiales tanto cemento como arena juega un papel muy importante en la particularidad, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura para la resistencia y la trabajabilidad del mortero. De acuerdo con las proporciones de cemento y arena nos basamos con relación 1:4 el cual esto indica que por cada volumen de cemento habrá 4 veces el volumen de arena para obtener una resistencia indicada en la clasificación Tipo S de la

Tabla 4 con un uso de pega de bloque o pañete de mortero convencional para la fabricación a los bloques de mortero con y sin ceniza de la cascarilla de arroz [19].

Tabla 4. *Clasificación del mortero tipo S.*

Clasificación de los morteros	
Tipo de Mortero	Resistencia a la Compresión f´c Mpa
S	12.5

Tomado de **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

- Mezcla de los materiales para los ladrillos:

Para cada ladrillo se mezcló la cantidad adecuada (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) de acuerdo con la relación de tipo de mortero para obtener una resistencia deseada.

Tabla 5. *Cantidad de Material para cada Ladrillo*

1 espécimen (Ladrillo)		
Cantidad de Material		
Cemento	2.531	kg
Arena	0.008	m^3
Agua	0.094	L

Tabla 6. *Cantidad de Material para cada Ladrillo con ceniza*

1 espécimen (Ladrillo)		
Cantidad de Material + % de vibro compactación		
Cemento	2.404	kg
Arena	0.008	m^3
Agua	0.094	L
CCA	0.126	kg

Figura 7. *Mezcla de materiales y fabricación de los ladrillos*

- Vibrado y compactación en Máquina: Posteriormente a tener la mezcla con relación 1:4 lista, se introdujo el material en la máquina de vibrado y siguiente a este paso se compactaron los ladrillos.

Figura 8. *Máquina de bloques Vibro compactadora*

- Curado y Prueba de Resistencia: Se tuvieron en cuenta dos edades de curado y fallado para los ladrillos normales y con ceniza, 28 días.

Para esta etapa se requirió del curado de cada uno de los ladrillos en cuartos especiales de curado ubicados en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, para luego hacer la ruptura (prueba de resistencia) a los a los 28 días.

En la

Tabla *7* se encuentran los datos del promedio de la resistencia de los ladrillos tradicionales y los ladrillos modificados con ceniza, como se observa el material de la ceniza es menor que la del tradicional, sin embargo, no se sabe si esta diferencia es estadísticamente significativa o no. Con el fin de determinar si la diferencia es estadísticamente significativa se realiza un análisis de varianza. El análisis de varianza se realizó en el programa Statgraphics Centurión.

El resultado del análisis da un valor p= 0.0144, cuando el valor p es menor a 0,05 se considera que la diferencia es estadísticamente significativa, por lo tanto, hay una evidencia de que la ceniza modifica significativamente el valor de la resistencia a los 28 días.

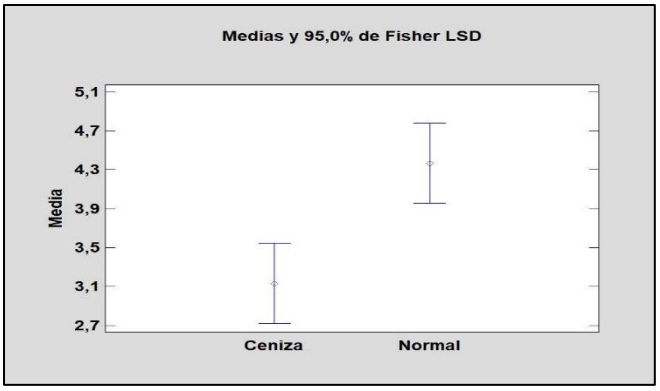
Figura 9. *Ensayo de compresión de los ladrillos*

Tabla 7. *Resumen Estadístico a los 28 días*

Tipo de Muestra	Días	Promedio de Resistencia Mpa	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación
Modificado con Ceniza	28	3.13	0.32	10.26%
Tradicional	28	4.37	0.40	9.26 %
Total	28	3.75	0.75	20%

Con el fin de observar gráficamente la diferencia entre las mediciones, se realiza la gráfica de medias. En esta grafica de medias se observa nuevamente que la diferencia entre usar o no ceniza es significativa.

Figura 10. *Grafica de Medias*



Adaptado de [27].

Cabe resaltar que los bloques realizados con materiales tradicionales y los realizados con ceniza, No cumplen con la resistencia mínima, , contrario a lo esperado, la adición de ceniza reduce significativamente la resistencia a la compresión del bloque.

La resistencia de los ladrillos de mortero debería aumentar con respecto a estas propiedades, el efecto de relleno, la actividad puzolánica y naturaleza hidráulica [15]:

El efecto de relleno se compone de dos fenómenos, incluidos los efectos de nucleación y empaque, que dependen principalmente de la finura de los materiales. El efecto de nucleación ocurre cuando las partículas pequeñas se esparcen en la pasta de cemento mezclada, lo que lleva a una reacción de hidratación mejorada, mientras que el efecto de empaquetamiento ocurre cuando los vacíos en las pastas se llenan con partículas finas.

La actividad puzolánica abarca todas las reacciones que ocurren entre los constituyentes activos de las puzolanas, la cal y el agua. Los componentes activos (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3) reaccionan con el hidróxido de calcio (CH) lo que provoca un aumento del hidrato de silicato de calcio (CSH) en la pasta de cemento.

La naturaleza hidráulica es la reacción de hidratación que surge entre el agua y el cemento, el material se fragua y luego se endurece. Esta reacción le permite al cemento hidratado endurecerse aun estando bajo el agua.

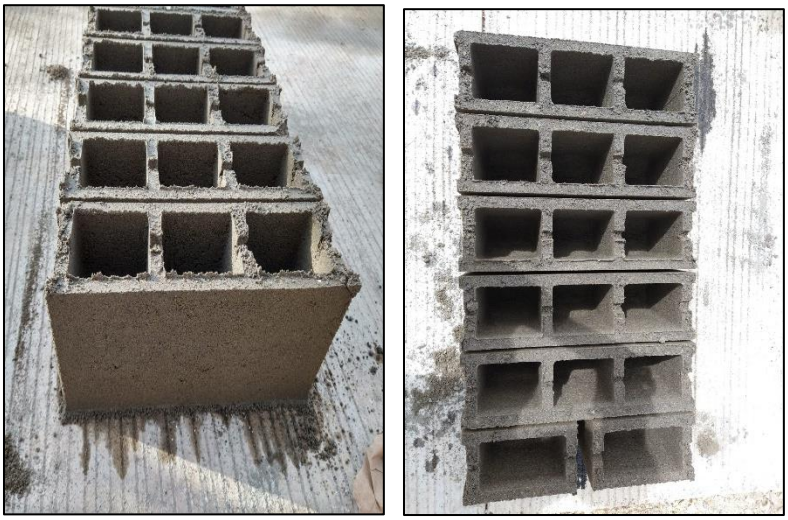
Sin embargo, disminuyo, es posible que se deba al alto contenido de carbono en la muestra puesto que solo se pasó una vez por el proceso de calcinación y esto produjo que se concentrara este alto porcentaje.

Etapa 3. La apariencia y acabado de los ladrillos es muy importante a la hora del fallado y el colocado en obra, debido a que de su apariencia depende también su resistencia

En la fabricación de los bloques se tuvo en cuenta la apariencia y acabado de los ladrillos, el cual, es muy importante este aspecto a la hora del fallado y puesto en obra para el cumplimiento de su resistencia a compresión mínima.

Figura 11. *Apariencia y acabado de los ladrillos con ceniza*

Figura 12 *Apariencia y acabado de los ladrillos sin ceniza*



- Se observaron los ladrillos durante la fabricación y fase de curado de los primeros días después de haberlos elaborado.
- Tan solo el 3% de las unidades de presentaron algún tipo de contracción lineal.

- En los bloques de mortero no tuvieron desportilladuras en ninguna de los espesores de pared y de tabique teniendo en cuenta la importancia de llegar a su resistencia máxima a compresión en cada ladrillo realizado.
- Ninguna de las unidades presentó desportilladuras de más de 25,4 mm en cualquier dirección.
- Al apreciar detalladamente el comportamiento de absorción del agua y color de los ladrillos comparando los de sustitución y ladrillos normales se notó una diferencia en cuanto a la absorción de agua y tono más claro en los bloques con ceniza de la cascarilla del arroz.

7. Conclusiones

La ceniza obtenida cumple dos de los tres criterios descritos en la norma NTC 3493 porque la suma de los óxidos de sílice, hierro y aluminio es superior al 70%, es decir, el 77, 1% y el contenido de azufre es significativamente inferior al %, solo el 0,15%; sin embargo, no cumple con el tercer requisito puesto su contenido de materia orgánica (pérdida por quemado) es mayor al 10% o 18.85%.

Al comparar la resistencia a compresión de bloques de mortero tradicionales con bloque de mortero modificado con la ceniza de cascarilla de arroz como material cementante suplementario se concluye, que los bloques con ceniza de cascarilla de arroz son significativamente menores, esto puede ser debido al alto contenido de carbono de la muestra, por lo tanto, no pueden utilizarse en obra. Se recomienda pasar la ceniza por un proceso adicional de calcinación para obtener más pureza en la muestra y mejores resultados en la resistencia de los ladrillos.

El acabado y apariencia de los ladrillos fue óptima, debido a que no se presentó un porcentaje mayor al 5% de desportilladuras ni contracción lineal que afectara el rendimiento de los especímenes en cuanto a resistencia a compresión y durabilidad.

La ceniza de la cascarilla del arroz implementada en esta investigación no es un material adecuado para ser implementado en el sector de la construcción convencional, ya que disminuye altamente las propiedades mecánicas del mortero en los bloques realizado, sin embargo, es necesario evaluar un paso de purificación de la ceniza para obtener unos óptimos resultados, también es importante revisar el proceso de mezcla y fabricación de los ladrillos para una mejor optimización en el vibrado y compactado de los ladrillos.

8. Recomendaciones

Para la ceniza de la cascarilla del arroz utilizada en este proyecto, se recomienda realizar un proceso más de calcinación para obtener un porcentaje de purificación mayor al 90% y así poder ser utilizado como un material cementante suplementario.

Referencias

[1] Datos y Cifras Claves, "European Cement Association (CEMBUREAU)." (2021, Feb 20) [En linea] Disponible en: https://cembureau.eu/about-our-industry/key-facts-figures/

[2] FICEM, Federación Interamericana del Cemento. "Informe Estadístico." (2021, Jul 9). [En línea]. Disponible en: https://ficem.org/wp-content/uploads/2021/06/00_Informe-estadistico-2019.pdf

[3] A, Mafla B, "*Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción*," *Uniminuto*, vol. 4, n.º 6, pp. 74–78, feb, 2009. Disponible en: https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/47

[4] Revista de Arroz. "*Fedearroz"*, 70 (556), 1–60. Ene, 2022. Disponible en: https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/Revista_ARRIOZ_556.

[5] Unidad de Planificación Rural y Agropecuaria (UPRA), "Colombia: 26,5 millones de hectáreas con vocación agro." (2022, Feb 1) "Colombia: 26,5 millones de hectáreas con vocación agro", [En línea]. Disponible en: https://upra.gov.co/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/GEKyUuxHYSXZ/content/colombia-26-5-millones-de-hectareas-con-vocacion-agro

[6] C, Arcos. D, Maciaz. & J, Rodríguez. "*La cascarilla de arroz como fuente de SiO2*". Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. 2007. 41. 7–20. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/430/43004102.pdf

[7] A, Sánchez. M, Jiménez, "Evaluación de la ceniza de cascarilla de arroz como suplemento al cemento en mezclas de concreto hidráulico" Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Villavicencio, 2019. [En línea]. Disponible en:

https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15589/2019anyirodr%C3%ADguez?sequence=1

[8] D, Burgos. D, Angulo. R, Mejía de Gutiérrez. "*Durabilidad De Morteros Adicionados Con Cenizas Volantes De Alto Contenido De Carbón*" Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales; 32 (1): 61-70. 2011. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/261722810_DURABILIDAD_DE_MORTEROS_ADICIONADOS_CON_CENIZAS_VOLANTES_DE_ALTO_CONTENIDO_DE_CARBON

[9] A, Guevara. E, Pavón. "Evaluación De La Resistencia Del Concreto Con Reemplazo Del Agregado Fino Por Ceniza De Cascarilla De Arroz" Tesis de pregrado, Universidad piloto de Colombia, Girardot, 2019. [En línea]. Disponible en: http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/6479/Monografia%20PDF.pdf?sequence=3&isAllowed=y

[10] Plan Nacional De Desarrollo (PND). "Departamento Nacional De Planeación". (2022, octubre). [En línea] Disponible en: https://www.dnp.gov.co/DNPN/Paginas/Plan-Nacional-de-Desarrollo.aspx#:~:text=El%20Plan%20Nacional%20de%20Desarrollo%20es%20un%20pacto%20por%20la,construir%20el%20futuro%20de%20Colombia.

[11] Plan de Desarrollo Tolima. "Región Centro". (2020, 24 de mayo). [En línea]. Disponible en: https://regioncentralrape.gov.co/plan-de-desarrollo-tolima/

[12] Organización De Naciones Unidas (ONU). "Objetivos de Desarrollo Sostenible. (s.f.). Objetivo 12: Producción y Consumo Responsable.". (2020, Agosto). [En línea].

Disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/

[13] Parlamento Europeo. Circular De Economía. (2015, 2 de diciembre). [En línea]. Disponible en https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios

[14] F, Frandsen. K, Theisen. K, Johansen. "*Cement Components and Their Phase Relations*" ResearchGate. Cap 3. 51. 10983–1100. Agosto. 2012. Disponible en: 10.1021/ie300674j

[15] P, Moreno. R, Fragozo. S, Vega. "*Tobacco waste ash: a promising supplementary cementitious material*". Int J Energy Environ Eng. 9, 499–504 (2018).

[16] ASTM C125-16 "*Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. ASTM International*". (2016). Available: https://tienda.aenor.com/norma-astm-c125-16-096277

[17] A, Osorio. "Diseño de mezcla para morteros de ceniza volante activados alcalinamente", Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia. Bogota. 2020. [En línea]. Disponible en: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25844/1/Proyecto%20de%20Grado.pdf

[18] NTC 3493-19 "*Ingeniería civil y arquitectura. cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento pórtland*". Icontec. Bogota. 2019. Disponible en https://tienda.icontec.org/gp-cenizas-volantes-y-puzolanas-naturales-calcinadas-o-crudas-para-uso-en-el-concreto-ntc3493-2019.html

[19] Norma Técnica Colombiana NTC 3356. "*Concretos, Morteros, Premezclados para Mampostería*". Incontec, Bogotá, 2000. Disponible en https://www.andimix.co/files/NTC%203356%20Morteros%20premezclados%20para%20Mamposteria.pdf

[20] C, Takeuchi. J, Mejia "*Comportamiento de la Mampostería Estructural.*" Bogotá: Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá *Revista ingeniería e investigación*. 26. 2. Pp. 10-19 Agosto. 2006.

[21] Norma Técnica Colombiana NTC 3823-20 "*Muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para uso en el concreto*". Icontec. Bogota. 1997. Disponible en https://pdfcoffee.com/ntc-3823-muestreo-y-ensayo-de-cenizas-volantes-o-puzolanas-naturales-para-uso-como-aditivo-mineral-en-el-concreto-de-cemento-portlandpdf-pdf-free.html

[22] Norma Técnica Colombiana NTC 4076. "*Unidades de concreto para mampostería no estructural*" ICONTEC. Bogotá, 2017. Disponible en https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4017/Anexo%207%20NTC-4076.pdf?sequence=8&isAllowed=y

[23] N. CAMARGO, "*La ceniza de cascarilla del arroz como aporte a la resistencia del concreto hidráulico*", revista científica. tecnología y de innovación de la Orinoquia colombiana, vol. 2, n.º 33, 2017, art. n.º 2. Disponible en: http://investigacion.unitropico.edu.co/wp-content/uploads/2017/07/REVISTA-ORINOQUIA-VOLUMEN2.pdf

[24] S. HUAQUISTO y G. BELIZARIO, "*Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento*", Revista de Investigaciones Altoandinas, vol. 2,

n.º 2, 2018, art. n.º 2. Accedido el 10 de abril de 2022. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.18271/ria.2018.366

[25] "¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?" CEMEX. (accedido el 3 de mayo de 2022). Disponible en: https://www.cemex.com.pe/-/-por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto

[26] Norma Técnica Colombiana NTC 4024 Prefabricados De Concreto. Muestreo Y Ensayo De Prefabricados De Concreto No Reforzados, Vibro compactados. Bogotá, D.C. ICONTEC, 2001. Disponible en https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-4024/

[27] STATGRAPHICS Centurion 19, statgraphics (version 19), statgraphics, Accedido Mayo 25, 2022. [En línea]. Disponible: https://www.statgraphics.com/

[28] Eiros.es. 2016. Eiros. Prefabricados de hormigón. [en línea] Disponible en: https://www.eiros.es/productos.php?id=14&ids=16&idp=10.

[29] L.GUTIERREZ, “Capitulo 3 Mortero en el concreto y otros materiales para la construcción”, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Ed 2., Manizales, Colombia, 2003, pp.115-129.

Apéndices

Apéndice A. *Requisito de Resistencia a la Compresión*

Tabla 2. Requisito de resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión a los 28 d (Rc_{28}) [A], evaluada sobre el área neta promedio	
Mínimo, MPa	
Promedio de 3 unidades	Individual
6,0	5,0

Apéndice B. *Clasificación de los morteros*

Tabla 1. Clasificación de los morteros según sus características mecánicas y físicas

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión f'_{cp} MPa(1)	Retención mínima de agua %
M	17,5	75
S	12,5	75
N	7,5	75

Apéndice C. *Composición química de la muestra de ceniza de cascarilla de arroz*

	LABORATORIO DE RAYOS X	Código: F-T-D-04
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Versión: 02
	INFORME DE RESULTADOS	

Muestra N°	21351001			
Tabla 1. Porcentaje cuantitativo en óxidos y elemental de la muestra identificada con código 21351001.				
	ELEMENTO	**CONCENTRACIÓN**	**COMPUESTO**	**CONCENTRACIÓN**
	Si	36.10%	SiO2	77.24%
	K	1.52%	K2O	1.83%
	P	0.32%	P2O5	0.73%
	Ca	0.29%	CaO	0.40%
	Mg	0.23%	MgO	0.38%
	Mn	0.11%	MnO	0.14%
	S	0.06%	SO3	0.15%
	Al	0.06%	Al2O3	0.10%
	Fe	0.05%	Fe2O3	0.07%
	Cu	0.05%	CuO	0.06%
	Zn	0.03%	ZnO	0.03%
	Cl	0.02%	Cl	0.02%
	Elementos minoritarios			
	ELEMENTO	**CONCENTRACIÓN**	**COMPUESTO**	**CONCENTRACIÓN**
	Ni	30 PPM	NiO	38 PPM
	Sr	17 PPM	SrO	20 PPM
	Rb	13 PPM	Rb2O	14 PPM
Nota:	• Todos los compuestos están ordenados según su composición elemental. Se identifica As, Mo, Cr y Ti pero no son cuantificables. • Se utiliza CHO como matriz de cuantificación			