



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 22-05-2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad Neiva-Huila

Los suscritos:

Santiago Cleves González, con C.C. No.1075318459, Erick Nicolas Garrido Cuellar, con C.C. No. 1075314041, Autores de la tesis y/o trabajo de grado titulado "Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería." presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de Ingeniero Civil;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Santiago Cleves González

Firma: Santiago Cleves González

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Erick Nicolas Garrido Cuellar

Firma: Erick Nicolás Garrido

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: “Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería”

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cleves Gonzales	Santiago
Garrido Cuellar	Erick Nicolás

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Medina Arce	Fredy

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Civil

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 64

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Diagramas x Fotografías x Grabaciones en discos Ilustraciones en general x Grabados Láminas
Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas o Cuadros x

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Compresión</u>	<u>Compression</u>	6. _____	_____
2. <u>Ceniza</u>	<u>Ash</u>	7. _____	_____
3. <u>NTC 4076</u>	<u>NTC 4076</u>	8. _____	_____
4. <u>Ensayos</u>	<u>Tests</u>	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La cascarilla de arroz es un residuo que indiscriminadamente es desechado al aire libre para la quema e incineración descontrolada, afectando la atmosfera, el paisaje y el suelo, por lo que el estudio en cuanto a su aprovechamiento es una forma de contribuir a impactar positivamente este sector; el presente proyecto tuvo como objetivó establecer la viabilidad técnica y financiera para el diseño y elaboración de bloques de mampostería para construcción a base de ceniza de cascarilla de arroz; el diseño de la investigación comprendió un estudio de tipo experimental, de carácter mixto, ya que se analizarán variables que corresponden a datos sobre proporciones de mezclas y a partir de estas se realiza una descripción de sus características por el método de resistencia a la comprensión; los resultados indicaron que de los 8 ensayos realizados, las proporciones 70/30 y 90/10 presentaron valores muy por encima de los establecidos por la NTC 4076 en cuanto a su resistencia a la comprensión; de lo cual se concluye que a mayor cantidad de ceniza menor es la resistencia del cilindro.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Rice husk is a waste that is indiscriminately discarded in the open air for uncontrolled burning and incineration, affecting the atmosphere, the landscape and the soil, so the study of its use is a way to contribute to positively impact this sector; the objective of this project was to establish the technical and financial feasibility for the design and manufacture of masonry blocks for construction based on rice husk ash; The design of the research included an experimental study, of mixed character, since variables corresponding to data on mix proportions will be analyzed and from these a description of their characteristics will be made by the method of resistance to compression; the results indicated that of the 8 tests carried out, the proportions 70/30 and 90/10 presented values well above those established by the NTC 4076 regarding their resistance to compression; from which it is concluded that the greater the amount of ash, the lower the resistance of the cylinder.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Jackson Andres Gil Hernandez

Firma:

Nombre Jurado: Mauricio Duarte Toro.

Firma:

Nombre Jurado: Henry Mauricio Castilla Salgado.

Firma:



Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

Santiago Cleves González

Erick Nicolás Garrido Cuellar

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2022

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

II

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

Proyecto de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

ingeniero Civil

Director (a):

Ing. Fredy Medina Arce

Línea de Investigación:

Línea de investigación Construcción

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2022

Dedicatoria

A Dios por darme perseverancia y sabiduría para lograr esta meta tan importante en mi formación profesional.

A mi Madre Claudia, por el apoyo incondicional que me ha brindado durante todo este proceso universitario, por ser quien está ahí para darme ánimos de lograr cada una de mis metas.

Santiago Cleves González

A Dios por ser mi principal guía y apoyo en mi vida y todo este proceso, brindándome la fuerza necesaria para lograr cumplir esta meta soñada.

A mis padres Alba y Farith, por haberme brindado todo el apoyo y la motivación durante esta etapa tan importante en mi vida, los amo demasiado.

Erick Nicolás Garrido Cuellar

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios por haberme brindado la oportunidad de lograr esta meta tan importante para mí y para mi familia, por guiar mis pasos en cada una de las metas trazadas, a mis padres por su total apoyo y compañía en este proceso tan importante de mi vida profesional.

Agradezco a mi compañero *Erick Nicolás Garrido Cuellar* por su esfuerzo y conocimiento aportado para este proyecto.

Santiago Cleves González

Agradezco a Dios por toda la sabiduría, perseverancia y fuerza que nos brindó para lograr cumplir esta meta profesional, agradecido infinitamente con mis padres por haber confiado en mis habilidades y por depositar todo su apoyo y compañía en mi carrera, a mi hermana por ser mi amiga y apoyo en momentos complejos de este proceso, a mis amigos y compañeros de estudio que fueron de gran ayuda para lograr cumplir esta meta juntos.

Agradezco a mi compañero *Santiago Cleves González* por su compromiso, dedicación y confianza en este proyecto, para así poder culminarlo juntos con éxito.

Erick Nicolás Garrido Cuellar

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director Ing. Fredy Medina Arce por su confianza y acompañamiento desde el inicio de este proyecto, quien siempre estuvo al pendiente de nuestro proceso y nos brindó todo su apoyo y conocimiento para hacer de esto posible, agradecemos a la Universidad y a todo el plantel docente por habernos formado profesionalmente, a todos, muchas gracias.

Resumen

La cascarilla de arroz es un residuo que indiscriminadamente es desechado al aire libre para la quema e incineración descontrolada, afectando la atmosfera, el paisaje y el suelo, por lo que el estudio en cuanto a su aprovechamiento es una forma de contribuir a impactar positivamente este sector; el presente proyecto tuvo como objetivo establecer la viabilidad técnica y financiera para el diseño y elaboración de bloques de mampostería para construcción a base de ceniza de cascarilla de arroz; el diseño de la investigación comprendió un estudio de tipo experimental, de carácter mixto, ya que se analizarán variables que corresponden a datos sobre proporciones de mezclas y a partir de estas se realiza una descripción de sus características por el método de resistencia a la compresión; los resultados indicaron que de los 8 ensayos realizados, las proporciones 70/30 y 90/10 presentaron valores muy por encima de los establecidos por la NTC 4076 en cuanto a su resistencia a la compresión; de lo cual se concluye que a mayor cantidad de ceniza menor es la resistencia del cilindro.

Palabras clave: Compresión, Ceniza, NTC 4076, Ensayos

Abstract

Rice husk is a waste that is indiscriminately discarded in the open air for uncontrolled burning and incineration, affecting the atmosphere, the landscape and the soil, so the study of its use is a way to contribute to positively impact this sector; the objective of this project was to establish the technical and financial feasibility for the design and manufacture of masonry blocks for construction based on rice husk ash; The design of the research included an experimental study, of mixed character, since variables corresponding to data on mix proportions will be analyzed and from these a description of their characteristics will be made by the method of resistance to compression; the results indicated that of the 8 tests carried out, the proportions 70/30 and 90/10 presented values well above those established by the NTC 4076 regarding their resistance to compression; from which it is concluded that the greater the amount of ash, the lower the resistance of the cylinder.

Keywords: Compression, Ash, NTC 4076, Tests.

Contenido

	Pág.
Contenido	
1. Introducción	14
1.1 Antecedentes	15
1.2 Definición del problema	17
1.3 Justificación.....	18
1.4 Objetivos.....	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivo específico.....	20
2. Marco teórico	21
2.1 Norma Técnica Colombiana NTC -4076.....	22
2.2 Norma Técnica Colombiana NTC-4026.....	22
2.3 Norma Técnica Colombiana NTC-763.....	23
2.4 Marco conceptual	24
2.4.1 Mortero.....	24
2.4.2 Bloque de concreto	25
2.4.3 Diseños de Bloques	27
2.4.4 Proceso de elaboración de bloques de concreto	29
2.3.3.1. Mezcla	29
2.3.3.2. Moldeo.....	30
2.3.3.3. Curado.....	30
2.4.5 Materiales agregados.....	30
2.3.4.1. Cemento.....	30
2.3.4.2. Arena.....	31
2.3.4.3. Cascarilla de arroz	31
2.3.4.4. Ceniza de Cascarilla de Arroz.....	32
2.4.6 Pruebas de Calidad.....	33
3. Metodología	35
3.1 Ensayos propuestos	35
3.2 Fases del proyecto	35
3.3 Preparación ensayos	37
3.3.1 Pesaje de materiales y mezclado	37
3.3.2 Preparación cilindros para ensayo	39
3.3.3 Codificación ensayos	40
3.3.4 Desmoldado y Curado de ensayos	41
3.3.5 Equipo pruebas de laboratorio.....	42

4. Análisis de resultados.....	45
4.1 Resultados.....	46
4.1.1 Resultados Ensayos a los 7 días.....	46
4.1.2 Resultados Ensayos a los 14 días.....	49
4.1.3 Resultados Ensayos a los 28 días.....	52
4.2 Selección de ensayo bajo parámetros de resistencia a la comprensión.....	56
4.3 Resultados consumo de materiales.....	57
4.4 Análisis económico.....	58
5. Conclusiones y recomendaciones.....	60
5.1 Conclusiones.....	60
5.2 Recomendaciones.....	61
6. Anexos.....	64

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1 .Esquema de modelos típicos de fractura	24
Figura 2-2: Tipos de mortero	25
Figura 2-3: Bloque de concreto tipo dos huecos	26
Figura 2-4: Bloque rustico de concreto	26
Figura 2-5: Descripción dimensional de bloques de concreto de dos huecos rústicos.....	27
Figura 2-6: Diseño de bloque tipo Gafa	27
Figura 2-7: Bloque de hormigón multiperforadora	28
Figura 2-8: Bloque de hormigón dos huecos, lizo	28
Figura 2-9: Bloques según su diseño	29
Figura 2-10: Alistamiento materiales para proceso de mezcla.	29
Figura 2-11: Moldes en hierro fundido para bloques de concreto.....	30
Figura 2-12: Cemento gris	31
Figura 2-13: Arena fina de rio	31
Figura 2- 14 Cascarilla de arroz seca	32
Figura 2- 15: Ceniza de cascarilla de arroz quemada.....	32
Figura 3-1: Matriz de ensayos	35
Figura 3-2: Fases para la ejecución secuencial del proyecto	36
Figura 3-3: Relación de ensayos preparados.....	37
Figura 3-4: proceso de preparación ensayos.....	38
Figura 3-5: Alistamiento de cilindros de ensayo	40
Figura 3- 6: Codificación cilindros para ensayos	41
Figura 3-7: Piscina de curado	42
Figura 3-8: TM 12	43
Figura 4-1: Procedimiento prueba compresión a los 7 días.	46
Figura 4-2: resultado de la rotura ensayo M15 relación 30/70	47
Figura 4-3. Resultados compresión a 7 días	48
Figura 4-4. Procedimiento prueba compresión a los 14 días.	49
Figura 4-5. Resultados compresión a 14 días	50
Figura 4-6. Procedimiento prueba compresión a los 28 días.	52
Figura 4-7. Resultados compresión a 28 días	53
Figura 4-8. Comportamiento muestras	56
Figura 4-9 . Relación de consumo de materiales por ensayo	57

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2- 1: Valores de resistencia a la compresión en MPa	22
Tabla 2- 2: Valores de resistencia a la compresión en MPa para mampostería estructural	23
Tabla 4-1. Convenciones para análisis de resultados; en el caso de la denominación para ceniza se empleará la abreviatura C, para cemento CE y para arena AR	45
Tabla 4-2. resultados prueba de compresión	47
Tabla 4-3. Distribución porcentual de la rotura en mezclas	48
Tabla 4-4. Resultados prueba de compresión 14 Días	50
Tabla 4-5. Distribución porcentual de la rotura en mezclas	51
Tabla 4-6. Resultados prueba de compresión 28 Días	53
Tabla 4-7. Distribución porcentual de la rotura en mezclas	54
Tabla 4-8. Análisis de muestras que cumplen parámetros de resistencia a 7, 14 y 28 día.....	55
Tabla 4-9. selección ensayo	56
Tabla 4- 10. Estructura costo unitario materiales y mano de obra.....	58
Tabla 4-11. Costo producir un bloque de concreto con ensayo M2 y M1	59

Capítulo 1

1. Introducción

El empleo de residuos agroindustriales en asocio con materiales o productos tradicionales de la construcción, se convierte en una alternativa para generar nuevos productos con valor agregado, en un sector productivo de alto impacto tanto a nivel social, económico y ambiental, siendo esto uno de los desafíos a asumir por la ingeniería civil en su rol a desempeñar en el desarrollo de la sociedad, por lo cual este proyecto busca describir y mostrar dicho uso en el sector de la construcción; como se mencionó anteriormente, el resultado de este piloto, determinara su funcionalidad como bloque estructural o no y los costos de fabricación del mismo.

El presente proyecto de investigación busca evaluar un mortero a base de ceniza de cascarilla arroz como suplemento del cemento para posible uso en la fabricación de bloques; para ello se realizaron pruebas piloto que incluyen preparación de mezclas en diferentes proporciones de cemento y ceniza para determinar la relación que permita cumplir con los requisitos de calidad asociados a parámetros de resistencia a la compresión mecánica acordes a la norma NTC 4076.

El documento contiene el marco teórico y conceptual base, necesario para dar contexto a la idea, y define el método de investigación científica, tomando como piloto, cinco muestras en diferentes proporciones de mezclas que serán falladas en cilindros para su evaluación en el laboratorio.

1.1 Antecedentes

Dentro de los estudios encontrados sobre aprovechamiento de residuos orgánicos y que permiten contextualizar esta investigación se tienen los siguientes aportes.

Investigadores como Hidalgo Et Al(2014) en Riobamba(Ecuador), diseñaron bloques ecológicos a base de Raquis de Palma Africana con agregados de construcción; de esta propuesta se estableció que para dar cumplimiento a los requisitos dados por la norma técnica Ecuatoriana INEN 297, la base de dicho material debe estar por encima del 50 %; otros estudios como el de García (2011), se enfocaron en el desarrollo de ladrillos ecológicos a base de tierra cruda, a lo cual sumaron aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal; primeramente mezclaron la arcilla y las algas *Gelidium sesquipedale* en una proporción 50/50; los resultados permitieron concluir que a mayor relación de material orgánico, el ladrillo presenta una mayor probabilidad de cumplir la Norma Española UNE 41410 en función de usos ornamentales (García, 2011).

Nuevas investigaciones en México en materia de bloques estuvieron dirigidas a disminuir la temperatura interna de las viviendas con diferentes mezclas de tierra comprimida (BTC-Bloques de Tierra Comprimida), las pruebas mostraron que el BTC mejora la sensación térmica de la vivienda en comparación con el bloque de concreto y el ladrillo (Roux Gutiérrez & Gallegos Sánchez, 2015).

Otro material estudiado corresponde a residuos de construcción en Guayaquil (Ecuador), en este caso se realizaron bloques y productos decorativos a base de material reciclado (80%) y cemento (20%) que contaron con las especificaciones técnicas aprobadas por el INEN en Ecuador, de acuerdo con lo anterior este tipo de iniciativas se convierten en tendencias de aprovechamiento que implican bajos costos de adquisición para poblaciones vulnerables según (ANZULES & BUSTAMANTE, 2016).

A nivel nacional, algunos de los usos dados a la cascarilla de arroz comprenden aplicaciones para bases en cama de animales, material de aporte en viveros y para el uso de la construcción; en Cali, una investigación realizada por Matthey et al (2014) sobre la “influencia del mezclado en dos etapas en la fabricación de ladrillos de mampostería con ceniza de cascarilla de arroz como agregado fino” estableció que este material presenta un gran potencial para su aplicación en la elaboración de bloques, ya que su contenido de Dióxido de Silicio (SiO_2) sirve como aglomerante, lo cual permite que este presente una resistencia similar o superior a la de un bloque comercial, reduciendo así el uso en casi un 20% de cemento portland, (Matthey, Robayo, Díaz, Arjona, & Monzó, 2013).

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

16

De igual forma, Molina (2016), realizó una investigación en Riohacha con la ceniza de cascarilla de arroz y arena para elaborar bloques de concreto, el estudio incluyó un piloto de 12 bloques con cada uno de los residuos dando como resultado que el uso de las cenizas arroceras y termoeléctrica pueden servir como material sustituto de forma parcial al cemento, ya que presentaron valores de resistencia iguales o mayores al bloque comercial (Cemento y Arena) después de los 28 días de curado (Molina, 2016).

Al igual que Delvasto (2017), sus estudios se enfocaron en desarrollar materiales cementicios alternativos y ecoeficientes, los cuales fueron caracterizados y usados como elementos constructivos de bajo costo; uno de estos materiales, fue la ceniza de cascarilla de arroz el cual se usó para la fabricación de ladrillos como aislantes térmicos; él estudió concluyó que este material es apropiado para el diseño de este tipo de ladrillos (Delvasto A, 2017).

Las razones que justifican el diseño de esta propuesta parte de la base que en la actualidad se generan altos volúmenes de residuos de cascarilla de arroz, los cuales no son manejados y dispuestos de forma correcta, ya que según Camargo(2020) se evidencia la mala disposición final de este residuo, como también el caso de las quemas indiscriminadas, lo cual debido a su efecto de combustión contamina el medio ambiente y las fuentes hídricas cercanas como lo indica el Subdirector de Control y Calidad Ambiental de Corporinoquia el Ing. Jonathan Camargo (CATORCE 6, 2020); por ende, se propone estudiar el uso de la ceniza como material agregado a nivel experimental como alternativa de suplemento en la fabricación de bloques de concreto, lo cual se justifica si partimos de la base que el proceso de producción de cemento requiere de altos consumos energéticos como lo indican (Cáceres & Quispe, 2018); esta propuesta permite mitigar el impacto de las emisiones de CO₂ generadas por el sector de producción de insumos de construcción, así como la explotación de productos como la arena, gravilla o piedra en su estado natural para la fabricación de materiales de construcción, que afectan de manera directa los ecosistemas; por ende la búsqueda de materiales agregados nuevos y sostenibles en el tiempo, la oportunidad de poder identificar si las características de este material están alineadas con la tecnología híbrida y ecológica como elemento de innovación constituyen una apuesta atractiva para el sector de la construcción.

1.2 Definición del problema

Colombia ocupa el tercer lugar de producción de arroz a nivel de Suramérica; la cascarilla de arroz representa, aproximadamente, una quinta parte en peso del fruto recolectado, el cual varía según el cultivo y la variedad del arroz; esta cascarilla, a su vez, se considera como un desecho agroindustrial que constituye aproximadamente el 20 % de la producción mundial de arroz, con estimaciones cercanas a los 7×10^8 toneladas anuales, siendo uno de los mayores residuos resultante de la producción agrícola de los países productores de arroz (Restrepo R, 2018).

En Colombia, la producción de arroz está cercana a 2.1 Megatoneladas/año, y como consecuencia de esta producción cerca de 4×10^5 Toneladas de cascarilla de arroz como residuo, las cuales mediante un proceso de quema controlada a nivel industrial y no controlada a nivel local dan origen a cerca de 1×10^5 toneladas de cenizas con un alto contenido de sílice cuyas propiedades de adherencia y cohesión lo hacen atractivo para otros usos (Molina, 2016).

El impacto ambiental de las industrias molineras es bastante alto, ya que genera grandes cantidades de toneladas de cascarilla de arroz al día (82 Ton/día), la cascarilla de arroz es un residuo que indiscriminadamente es desechado al aire libre para la quema e incineración descontrolada, afectando la atmósfera, el paisaje y el suelo (Aguilar S, 2009); sin embargo, en la actualidad según datos de la molinera San Isidro ubicada en el municipio de Campoalegre (Huila), la ceniza de cascarilla de arroz es usada como material para la purga y preparación de suelos para inicio de nuevos ciclos de cultivos de arroz; se estima que al mes 6 Toneladas de este residuo se regalan a productores para dicho fin, de un total de 17 Toneladas que se generan (Torres, 2021).

Investigaciones como la de Verdasco et al (2019) sugieren que la ceniza de cascarilla arroz tiene un gran potencial para ser usada en la fabricación de bloques o ladrillos; sin embargo los estudios realizados hasta el momento no establecen unas condiciones técnicas para su producción y comercialización, por lo que existe poco conocimiento a nivel de fabricación de bloques para mampostería y análisis económico del mismo. (Instron, 2018); en función de estos planteamientos, la pregunta que se genera es:

¿Qué proporción de mezcla usada en morteros (cemento+ ceniza de cascarilla de arroz) cumple con los parámetros de resistencia mecánica según NTC 4076 para un posible uso en la elaboración de bloques de concreto?

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

18

1.3 Justificación

Una de las mayores preocupaciones que existen a nivel ambiental son los residuos no aprovechables, las emisiones contaminantes entre otra, las cuales conducen a la aparición de problemas de tipo ambiental, social y económico entre otros; dentro de estos residuos se destaca la producción de cascarilla de arroz en Colombia, ya que sus altos volúmenes de producción y residuos resultantes de su transformación industrial como la cascarilla presentan un bajo nivel de aprovechamiento, sin embargo se ha identificado que culturalmente los productores de arroz emplean esta cascarilla para la quema de áreas de pos-cultivo con el fin de realizar un curado de la tierra que permita nuevas cosechas; sin embargo como lo indica Camargo (2020) el efecto inmediato de esta práctica se presenta en una alta emisión de partículas contaminantes que impactan negativamente el medio ambiente y el propio entorno.

Hoy día las investigaciones sobre transferencias de tecnologías, el uso de nuevos materiales de ingeniería y la utilización de los residuos industriales generados, tienen un papel importante en el desarrollo de nuevos productos sustitutos; ya que se orientan no solo en la funcionalidad de este si no en un enfoque sostenible y sustentable con el medio ambiente.

La alta demanda energética para la producción de cemento implica grandes emisiones de gases, a lo que se suma una demanda de materiales naturales, lo que lo convierte en un material contaminante y costoso. La industria del cemento, a escala mundial, tiene el 2 % del consumo global de energía y el 5 % del consumo global de energía industrial, lo que genera aproximadamente una tonelada de CO₂ por cada tonelada de Clinker dependiendo de la eficiencia de la planta. En algunos casos se podría reducir la cantidad de cemento por adiciones de residuos agroindustriales, con muy buenos resultados (López & Hernández, 2018).

Adicional a ello el uso o explotación de productos como la arena, gravilla o piedra en su estado natural para la fabricación de materiales de construcción, afectan de manera directa los ecosistemas; los subprocesos de producción que se desprenden para el tratamiento de estos, generan altos niveles de contaminación en la emisión de gases de los equipos empleados para su propio tratamiento (ONU, 2021); adicional a ello el efecto de disminución o agotamiento de los recursos naturales, va en contra de las políticas ambientales mundiales y nacionales sobre la conservación de ecosistemas y habitats naturales. Bajo algunos de estos argumentos, se ha visto en la necesidad de emplear combinadamente la ciencia y la tecnología para el desarrollo de productos

sustitutos, agregados de menor impacto que contribuyan a mitigar ese desgaste natural de estos materiales; en esa búsqueda que comprende un abanico de áreas o sectores de la industria en general, se encuentra el sector de la construcción, la cual es una actividad básica e indisoluble dentro de las políticas o proceso sociales de crecimiento urbano como respuesta al crecimiento de la población.

Esta propuesta plantea una solución de carácter experimental para el empleo de un subproducto como el caso de la cascarilla de arroz convertida a ceniza, como material agregado para la fabricación de morteros, con posible uso en la elaboración de bloques de concreto ya sea estructurales o no para mampostería, lo que a futuro podría convertirse en una opción de aprovechamiento para la cascarilla de arroz y mitigación de los impactos ambientales que se desprenden de las malas prácticas de uso, a lo que se suma a largo plazo la posibilidad de realizar investigaciones con mayor nivel de profundidad que evidencien más aplicaciones en el sector de la construcción.

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

20

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el uso de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento en la mezcla para un posible uso en la fabricación de bloques.

1.4.2 Objetivo específico

- Realizar a nivel experimental proporciones de mezcla en morteros mediante cilindros para determinar relaciones de uso como material suplementario.
- Fallar ensayos cilíndricos de mortero con contenido de ceniza de cascarilla de arroz para determinar la resistencia a la compresión según parámetros de la norma técnica colombiana NTC 4076.
- Establecer la relación de beneficio económico del uso de la ceniza a partir de las pruebas seleccionadas para una posible fabricación de bloques de concreto.

Capítulo 2

2. Marco teórico

Uno de los aspectos importantes del proyecto que determina la funcionalidad y el uso, para el desarrollo del producto, hace referencia por un lado a los resultados de la elaboración del mismo y su correspondiente calidad técnica, la cual se evalúa a partir de las características técnicas descritas en la Norma Técnica Colombiana NTC 4076 de Ingeniería Civil y Arquitectura Unidades (Bloques Y Ladrillos) de Concreto, para Mampostería No Estructural Interior Y Chapas De Concreto) y la NTC 4026 (Ingeniería Civil Y Arquitectura. Unidades (Bloques Y Ladrillos) De Concreto, Para Mampostería Estructural).

A continuación, se hace una breve descripción de las normas con el fin de poder establecer e identificar los parámetros que referencia que validaran los diseños de los prototipos de bloques desarrollados a nivel experimental.

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

22

2.1 Norma Técnica Colombiana NTC -4076

Esta norma establece los requisitos para unidades de mampostería, perforadas o macizas (bloques o ladrillos), de concreto, elaboradas con cemento hidráulico, agua, agregados minerales y aditivos, con la inclusión o no de otros materiales, aptas para elaborar mampostería no estructural, interior o exterior y para las chapas de concreto. Los valores se regirán de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades NTC 1000 (ISO 1000). Los parámetros tomados de esta norma son los relacionados a la resistencia a la compresión.

Este parámetro se mide en megapascales y se interpreta como el máximo esfuerzo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento; sin embargo, la NTC-4076, establece que los valores mínimos permitidos para ensayos de 3 unidades e individuales para mampostería no estructural y los cuales serán empleados para comparar los resultados experimentales frente a los parámetros teóricos establecidos en la tabla2-1 (Instron, 2018).

Resistencia a la compresión a los 28 d (Rc28) ^A, evaluada sobre el área neta promedio	
Mínimo, MPa	
Promedio de 3 unidades	Individual
6,0	5,0

Tabla 2-1: Valores de resistencia a la compresión en MPa

Nombre de la fuente: (ICONTEC, 1997)

Los resultados de las diferentes pruebas piloto se darán en esta unidad de medida para efectos de los análisis y presentación de resultados.

2.2 Norma Técnica Colombiana NTC-4026

Esta norma establece los requisitos para unidades de mampostería, perforadas o macizas de concreto (véanse los numerales 4.1.1.1 y 4.1.1.2), elaboradas con cemento Pórtland, agua y

agregados minerales con la inclusión o no de otros materiales, aptos para elaborar mampostería estructural. El parámetro empleado de la norma es la resistencia a la compresión dada en dos clases de unidades, de resistencia alta (A) y de resistencia baja (B). Las unidades que cumplan con esta norma también se pueden utilizar para elaborar mampostería no estructural. Las unidades de mampostería de concreto a las que se refiere esta norma se pueden elaborar con agregados de peso liviano, de peso normal, o de ambos; para el caso de la resistencia a la compresión, los parámetros mínimos se realizan sobre un promedio de 3 y 1 unidad a los 28 días, lo que permite determinar si es de clase alta o baja dicha resistencia:

- De resistencia alta (A)
- De resistencia baja (B)

Resistencia a la compresión a los 28 d (Rc28) ^B , evaluada sobre el área neta promedia (Anp)			Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m ³		
Mínimo ^B , MPa			Promedio de 3 unidades, Maximo, %		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano, menos de 1 680 kg/m ³	Peso mediano, de 1 680 kg/m ³ hasta menos de 2 000 kg/m ³	Peso normal, 2 000 kg/m ³ o más
Alta	13	11	15 %	12 %	9 %
Baja	8	7	18 %	15 %	12 %

Tabla 2-2: Valores de resistencia a la compresión en MPa para mampostería estructural

Nombre de la fuente: (ICONTEC, 1997)

2.3 Norma Técnica Colombiana NTC-763

Esta norma establece condiciones para ensayos de cilindros de concreto para determinar resistencia a la compresión; para interpretar los datos se debe tener en cuenta el tipo de fractura con el fin de poder evidenciar a nivel normativo esta variable; en caso de que la fractura no se asocie a las establecidas se debe elaborar un informe describiendo el tipo de fractura junto con la evidencia de este; la figura 2-3 muestra los tipos de fractura según la norma.

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

24

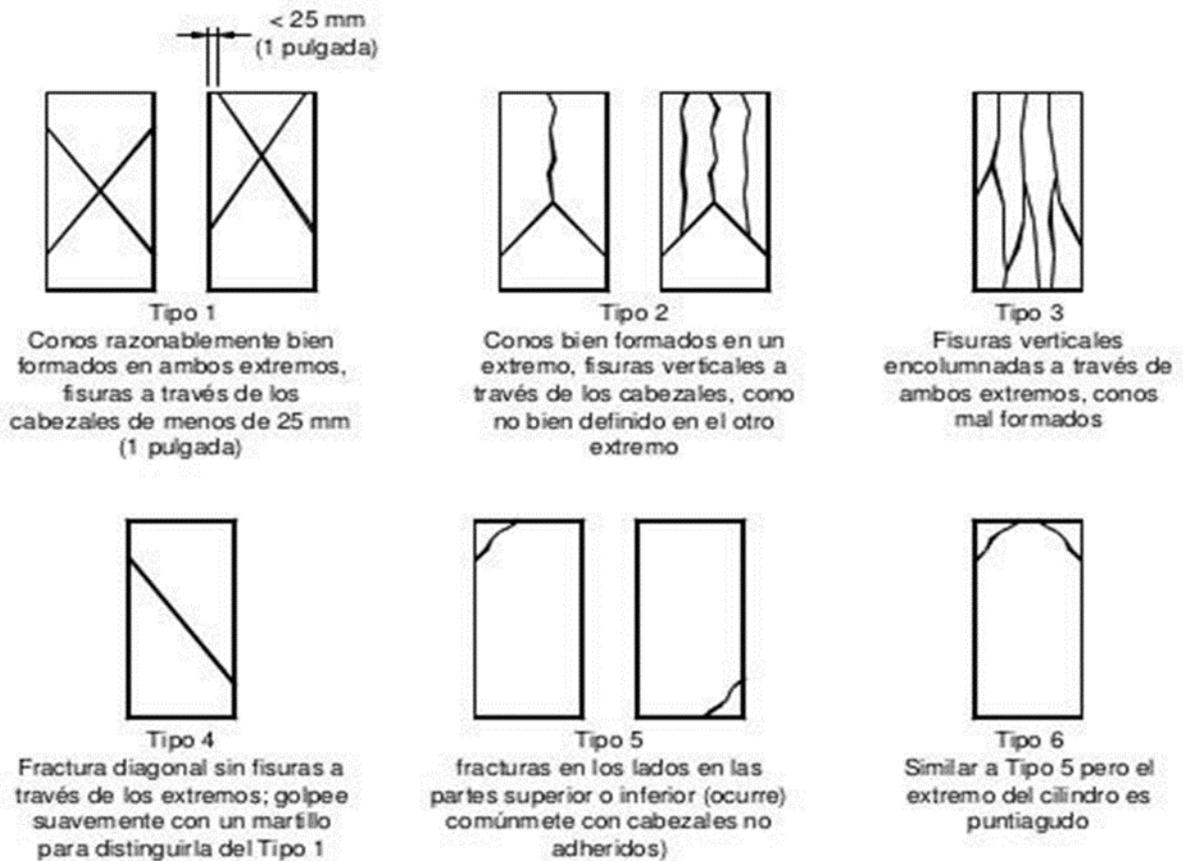


Figura 2-1 .Esquema de modelos típicos de fractura

Fuente: NTC 673

2.4 Marco conceptual

2.4.1 Mortero

Se entiende como una mezcla de materiales agregados empleados en el sector de la construcción para unir materiales de construcción, rellenar espacios, fabricar bloques, muros entre otros usos; dentro de sus propiedades se tienen su alta capacidad de adhesión, resistencia a la compresión, su alta durabilidad (Muñoz, 2022).

De acuerdo con su aplicación los morteros pueden ser:

Clasificación	
DE CAL	El cual es un mortero aéreo, es decir que se endurece al secarse el agua de la mezcla bajo la influencia del aire, es utilizado en mampostería sin reforzar y en repellos.
De cal y cemento portland	este tipo de mortero presenta una gran trabajabilidad, una buena retención de agua y altas resistencias iniciales, es normalmente usado para la pega de bloques de concreto en la mampostería estructural.
De cemento Portland	que es utilizado cuando se requiere de altas resistencias, este tipo de mortero es más común en nuestro medio, ya que con él se realizan la mayoría de las obras de mampostería de ladrillo común. Su resistencia, cómo en la mayoría de las mezclas, depende de la dosificación que se trabaje.
Morteros premezclados de larga vida	son los que se solicitan a empresas pre-mezcladoras y deben ser pedidos de acuerdo con el tipo de obra que se esté realizando.
Morteros secos	son aquellos que vienen premezclados en sacos o a granel y sólo se les tiene que agregar la cantidad de agua necesaria según su utilización.

Figura 2-2: Tipos de mortero

Nombre de la fuente: (CEMIX, 2021)

2.4.2 Bloque de concreto

El Bloque de Hormigón es un paralelepípedo rectangular prefabricado con numerosas celdas de paredes delgadas, que los convierten en piezas fáciles de maniobrar en obra y muy aislantes. Se elaboran a partir de Morteros y Hormigones de consistencia seca (de Árido pequeño) comprimiéndolos y haciéndolos vibrar en moldes metálicos. Por tener mayores dimensiones que el ladrillo, permite la construcción de paredes en tiempos más reducidos a los que demanda una pared de obra de ladrillo. Las paredes son más rígidas, pero rechazan los revestimientos si previamente no se aplican disposiciones constructivas especiales (Vinuesa s, Macancela C, & Valle B, 2021).

- **Bloques Estructurales:** Son los bloques que resiste su peso y la carga que hay sobre el cómo las vigas, pilares, muros y cimentación; forma parte de la estructura horizontal y

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

26

vertical aportándole rigidez a la edificación; ejemplo de esto, se indica en la figura 2-4 a continuación:



Figura 2-3: Bloque de concreto tipo dos huecos

Nombre de la fuente: (emarQ, 2021)

- **Bloques No Estructurales:** Son los bloques que se realizan para el uso en muros no estructurales como los muros divisorios, que no sostienen ningún tipo de carga, como se muestra en la figura 2-5 a continuación (BALLESTEROS, 2016)



Figura 2-4: Bloque rustico de concreto

Nombre de la fuente: (emarQ, 2021)

2.4.3 Diseños de Bloques

El uso de bloques a nivel mundial se encuentra estandarizado, lo que implica su fabricación y distribución en medidas estándar como se indica en la figura 2-6.

- **Medidas:** De acuerdo con los usos comerciales más frecuentes de bloques de concreto en el sector de la construcción estos pueden tener las siguientes especificaciones dimensionales como se indica en la figura 2-6: 10x20x40 cm, 15x20x40 cm y 20x20x40 cm.

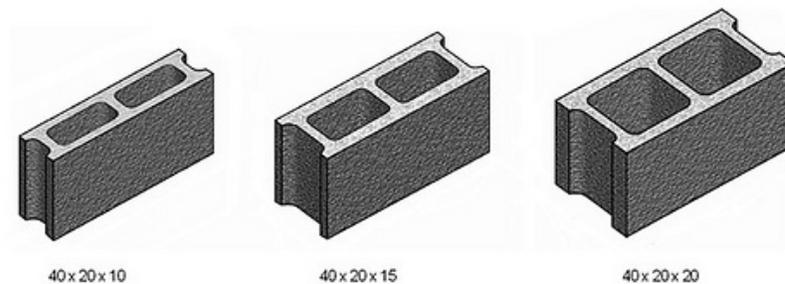


Figura 2-5: Descripción dimensional de bloques de concreto de dos huecos rústicos

Nombre de la fuente: (emarQ, 2021)

En función de la forma de su diseño, los bloques de concreto pueden ser:

- **Diseño de Gafa:** Muy común en la industria, ya que por su versatilidad puede empleado de forma vertical u horizontal; ejemplo de ello se muestra en la figura 2-7.



Figura 2-6: Diseño de bloque tipo Gafa

Nombre de la fuente: (emarQ, 2021)

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

28

- **Multicámara:** Son usados usualmente cuando se va construir un muro de una sola hoja y son de 6 huecos; ejemplo de este se indica en la figura 2-8 a continuación.

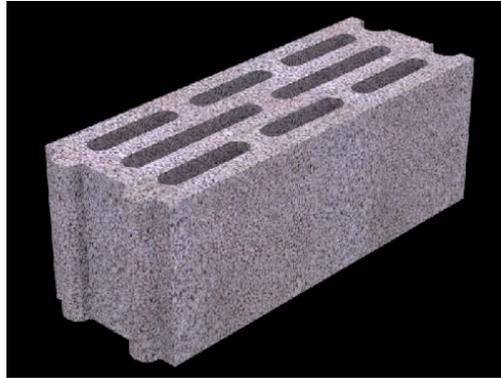


Figura 2-7: Bloque de hormigón multiperforadora

Nombre de la fuente: (Bloqueras, 2021)

- **De Carga:** Son usualmente llamados Bloques Estructurales porque resisten su peso y otras cargas, es usado para muros estructurales; la figura 2-9 muestra un bloque de carga estructural de dos huecos.



Figura 2-8: Bloque de hormigón dos huecos, lizo

Nombre de la fuente: (Bloqueras, 2021)

De acuerdo con el tipo de acabado del bloque, este puede tener la siguiente configuración como se indica en la figura 2-10, la cual presenta tres tipos de acabados como se indica a continuación:



Figura 2-9: Bloques según su diseño

Nombre de la fuente: (Construyebien., 2019)

2.4.4 Proceso de elaboración de bloques de concreto

2.3.3.1. Mezcla

Consiste en la unión de dos o más elementos en proporciones diferentes o iguales para conformar un nuevo material; en esta etapa se agregan materiales como arena, grava, cemento portland, los cuales son homogenizados a partir de dicha mezcla como se muestra en la figura 2-11 a continuación (CEMEX, 2000).



Figura 2-10: Alistamiento materiales para proceso de mezcla.

Nombre de la fuente: (CEMEX, 2000).

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

30

2.3.3.2. Moldeo

Es un proceso que consiste en elaborar el bloque de concreto a partir de una matriz geométrica o molde para su respectiva comercialización como se indica en la figura 2-12, la cual muestra el molde, a partir del cual se construyó el bloque de concreto como se indica a continuación:



Figura 2-11: Moldes en hierro fundido para bloques de concreto

Nombre de la fuente: (Arrieta F, 2001)

2.3.3.3. Curado

Es un proceso en cual se hidrata el bloque con el fin de asegurar el proceso de reacción química del cemento para asegurar las características mecánicas del bloque. (Sika, 2014)

2.4.5 Materiales agregados

2.3.4.1. Cemento

El cemento es un material que se obtiene de la mezcla de Caliza y Arcilla, la cual es sometida a calcinación y molienda; este producto tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua y se usa como aglomerante en morteros y hormigones; ejemplo de este material se indica en la figura 2-13 a continuación (Cemex, 2021).



Figura 2-12: Cemento gris

Nombre de la fuente: (Cemex, 2021).

2.3.4.2. Arena

Conjunto de partículas pequeñas de rocas que se acumulan en las orillas del mar o de los ríos, que se usan para elaborar morteros y hormigones (Construmatica, 2021); la figura 2-14 muestra una arena fina de río empleada para la mezcla con cemento para la fabricación de bloques.



Figura 2-13: Arena fina de río

Nombre de la fuente: (Suárez P, 2017)

2.3.4.3. Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz proviene de la espiga de la planta de arroz, y hace referencia a la cascara que cubre el grano de arroz, el cual se considera un subproducto de la industria molinera que resulta ser excesivo y contaminante; está compuesto por celulosa, sílice, ceniza, extracto no nitrogenado y humedad; la figura 2-15 muestra la cascarilla de arroz una vez se ha pasado por el proceso de molienda (Arcos & Rodríguez P, 2007).

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

32



Figura 2- 14 Cascarilla de arroz seca

Nombre de la fuente: (Arcos & Rodríguez P, 2007).

2.3.4.4. Ceniza de Cascarilla de Arroz

La ceniza de cascarilla de arroz proviene de la quema controlada de la cascarilla de arroz la cual es el 20% de lo que compone el arroz, la ceniza tiene un 90%-97% de Dióxido de Silicio (SiO_2) siendo este el principal componente de la arena y la arcilla eliminando impurezas como el calcio, el potasio, el magnesio y el manganeso (Prada & Cortés, 2011); la figura 2-16 muestra la ceniza de cascarilla de arroz una vez se ha quemado la cascarilla.



Figura 2- 15: Ceniza de cascarilla de arroz quemada

Nombre de la fuente: (Arcos & Rodríguez P, 2007).

2.4.6 Pruebas de Calidad

Las pruebas de calidad que se realizan a los bloques de concreto, tienen como fin establecer si el lote empleado para diferentes fines en la construcción cumplen o no con los criterios fijados por las NTC ya sea para bloque de tipo estructural o no estructural; el proceso consiste en elaborar diferentes ensayos que emplean variaciones en sus composiciones de los materiales empleados para la fabricación como el cemento y la arena u otros, y determinar cuáles presentan valores acorde a los parámetros establecidos en la norma , a partir de pruebas como resistencia a la compresión o contenido de humedad. La Norma Técnica Colombiana para el caso de los Bloques de Concreto es la NTC 4024, Muestreo y Ensayo de Prefabricados de Concreto No Reforzados, Vibro compactados (ICONTEC, 2001) en donde la norma nos establece el procedimiento de muestreo para saber la resistencia de los bloques con las pruebas de Compresión, absorción, densidad, humedad y dimensiones.

Capítulo 3

3. Metodología

Corresponde a un estudio de tipo experimental, de carácter mixto, ya que se analizarán variables que comprenden datos sobre proporciones de mezclas y a partir de estas se realiza una descripción de sus características de resistencia, como de las características resultantes de los ensayos realizados.

3.1 Ensayos propuestos

Para efectos del estudio, se realizaron 5 ensayos en cilindros de acuerdo con la tabla 3-1 como se indica a continuación:

NUMERO PRUEBA PILOTO	1	2	3	4	5	6	7	8
% CEMENTO	70%	90%	80%	60%	40%	35%	65%	55%
% CENIZA CASCARILLA DE ARROZ	30%	10%	20%	40%	60%	65%	35%	45%
Dimensiones del bloque	40cm x 20cm x 10 cm							

Figura 3-1: Matriz de ensayos

Nombre de la fuente: Autor

3.2 Fases del proyecto

De acuerdo con los objetivos propuestos, las fases que integran el desarrollo del proyecto son:

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

36



Figura 3-2: Fases para la ejecución secuencial del proyecto

Nombre de la fuente: Autor

3.3 Preparación ensayos

De acuerdo con los objetivos propuestos, el paso inicial dado para el desarrollo del proyecto fue la preparación de los ensayos, los cuales se registraron en formato de tablas como se indica en el anexo 1; según lo anterior se aplicó el siguiente procedimiento:

Ajustes de preparación de ensayos; en este inicio del proceso fue necesario hacer un ajuste de las muestras con el fin de obtener la mayor y mejor información posible; de acuerdo con lo anterior se tienen los porcentajes nuevos de los ensayos preparados de acuerdo con el siguiente procedimiento mencionado en el epígrafe 3.3.1.

	UN	1 ensayo		2 ensayo		3 ensayo		4 ensayo	
Ensayos		%	peso o volumen						
% ceniza	g	30	2598,75	10	1067	25	3032	40	2961,5
% cemento	g	70	6168,8	90	9603	50	6064	60	4441
% Arena	g					25	3032		
% agua		Cm^3	4.311		3.950		5.579		5.275

	UN	5 ensayo		6 ensayo		7 ensayo		8 ensayo	
Ensayos		%	peso o volumen						
% ceniza	g	60	4441	30	2200	35	2159	40	2591
% cemento	g	40	2961,5	40	2934	30	1851	30	1944
% Arena	g			30	8200	35	2159	30	1944
% agua		Cm^3	10.006		5.333		5.435		5.651

Figura 3-3: Relación de ensayos preparados

Nombre de la fuente: Autor

Para la preparación de los ensayos el procedimiento empleado incluyó los siguientes pasos:

3.3.1 Pesaje de materiales y mezclado

El proceso inicia con la calibración de la báscula para pesaje y los recipientes empleados para la mezcla, esto con el fin de reducir el margen de error al momento de la preparación de los ensayos

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

38

como se muestra en el subtítulo “verificación de calibración pesas y verificación recipientes para mezcla; para dicha calibración se emplearon cilindros de 1000 g y 500 g, los cuales al ser pesados no presentaron desviación en la medición; por lo tanto la báscula se encuentra calibrada; se empleó una báscula certificada marca “LEXUS ELECTRONIC SACHES” digital; de igual forma se calcularon los pesos de los recipientes para la mezcla con el fin de tenerlos en cuenta en las proporciones de materiales para la realización de mezclas, ya que dicho peso de los recipientes se debe restar para obtener el valor verdadero en gramos de las proporciones empleadas en las mezclas a realizar; en el caso de la mezcladora empleada corresponde a una “BAUKER”, con una Capacidad del tambor de 155 lt. y una capacidad de Mezcla de 130 lt (Aconstructoras, 2021).



Figura 3-4: proceso de preparación ensayos

Nombre de la fuente: Autor

3.3.2 Preparación cilindros para ensayo

Para la fabricación de los cilindros para ensayos de acuerdo a los ensayos propuestos, una vez realizada la mezcla homogénea en el equipo BAUKER, estas cantidades preparadas se vaciaron en los cilindros, a los cuales se les aplicó un proceso de compactación en dos fases; la primera parte se vacía hasta un 60% la mezcla sobre el cilindro(1) y luego se aplica 18 perforaciones para sentar la misma (2) y 25 golpes circuperimetricos sobre el cilindro (3) para compactar la mezcla en el recipiente; esto de acuerdo a lineamientos de Norma Técnica Colombiana NTC-550 (2000) “Concreto. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra”; este mismo procedimiento se repite al llenar el total del contenedor, que luego pasa a un área de almacenamiento temporal para luego aplicar las pruebas en una escala de 7, 14 y 28 días para determinar su comprensión (4) y (5); este proceso se puede visibilizar en la figura 3-5 (ICONTEC, 2000).

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

40



Figura 3-5: Alistamiento de cilindros de ensayo

Nombre de la fuente: Autor

3.3.3 Codificación ensayos

Para efecto de registro, control y trazabilidad de los resultados de los ensayos, los cilindros se codificaron de acuerdo con la estructura presentada en la figura 3-6:

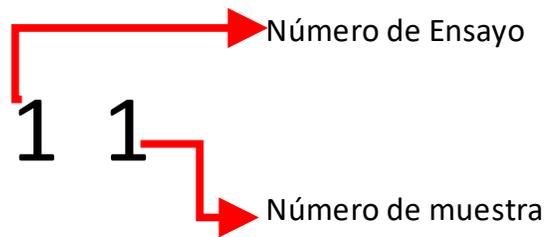


Figura 3- 6: Codificación cilindros para ensayos

Nombre de la fuente: Autor

El primer índice indica el número del ensayo al que corresponde el cilindro, para efectos del estudio van de 1 a 8; el segundo índice hace referencia al número de la repetición el cual va de 1 a 5 para efectos del estudio.

3.3.4 Desmoldado y Curado de ensayos

Para este proceso los cilindros secos son retirados del molde y sumergidos en una piscina con agua para realizar posteriormente las pruebas de compresión, como se indica en la figura 3-7.

Evaluación de mortero a base de ceniza de cascarilla de arroz como suplemento para posible uso en la fabricación de bloques de mampostería.

42



Figura 3-7: Piscina de curado

Nombre de la fuente: Autor

3.3.5 Equipo pruebas de laboratorio

De acuerdo con la información proporcionada por el Laboratorio "ESSUING", ubicado en la Carrera 10 # 2-86- Prudencio Quimbaya", el equipo empleado para los ensayos de compresión del hormigón es una TM 12" como se indica en la figura 3-8.



Figura 3-8: TM 12

Nombre de la fuente: Autor

Este equipo presenta resultados de forma automática de acuerdo con los ensayos; el equipo calibrado tiene un margen de error 0,05 %.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

Realizadas las pruebas en los ensayos preparados (anexo 1 y 2), los resultados alcanzados a los 7, 14 y 28 días presentan el siguiente comportamiento.

Para efectos de comprender los resultados se empleará la siguiente convención para la identificación del ensayo y su composición de la siguiente manera

Ensayo		Mezcla		
M1	RELACIÓN (%)	30% CENIZA	70% CEMENTO	
M2	RELACIÓN (%)	10% CENIZA	90% CEMENTO	
M3	RELACIÓN (%)	25% CENIZA	25% ARENA	50% CEMENTO
M4	RELACIÓN (%)	40% CENIZA	60% CEMENTO	
M5	RELACIÓN (%)	40% CENIZA	60% CEMENTO	
M6	RELACIÓN (%)	30% CENIZA	30% ARENA	40% CEMENTO
M7	RELACIÓN (%)	35% CENIZA	35% ARENA	30% CEMENTO
M8	RELACIÓN (%)	40% CENIZA	30% ARENA	30% CEMENTO

Tabla 4-1. Convenciones para análisis de resultados; en el caso de la denominación para ceniza se empleará la abreviatura C, para cemento CE y para arena AR

Nombre de la fuente: Autor

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados Ensayos a los 7 días

Para la realización de las pruebas a compresión, los ensayos analizados comprenden los M1(Cilindros 1, y 2), M2 (cilindros 6 y 7), M3 (Cilindros 11 y 12), M4 (cilindros 16 y 17), M5 (cilindros 21 y 22), M6 (Cilindros 26 y 27), M7 (Cilindros 31 y 32), M8 (Cilindros 36 y 37) mediante un procedimiento que incluye el retiro de los cilindros de la piscina, ubicación de los cilindros en la TM 12 y prueba de compresión como se indica en la figura 4-1 y 4-2 a continuación



Figura 4-1:Procedimiento prueba compresión a los 7 días.

Nombre de la fuente: Autor



Figura 4-2: resultado de la rotura ensayo M15 relación 30/70

Nombre de la fuente: Autor

Los resultados de la prueba de compresión arrojaron los siguientes datos a los 7 días, según la tabla 4-2 presentada a continuación:

CILINDRO No.	FUERZA DE ROTURA (Kilo Newton)	RESISTENCIA OBTENIDA (K/Cm ²)	RESISTENCIA OBTENIDA (Lb/Pulg ²)	RESISTENCIA OBTENIDA (Mpa)	TIPO DE ROTURA
1	88,5	110	1578	10,8799	3
2	83,2	104	1483	10,2249	4
6	251,5	314	4484	30,9161	3
7	248	309	4421	30,4817	3
11	27,4	34	488	3,3646	2
12	31,6	39	563	3,8817	3
16	16,2	20	289	1,9926	2
17	18,5	23	330	2,2753	3
21	6,3	8	112	0,7722	2
22	6,1	8	109	0,7515	2
26	10,9	14	194	1,3376	3
27	10,3	13	184	1,2686	4
31	7	9	125	0,8618	3
32	7,3	9	130	0,8963	3
36	7	9	125	0,8618	2
37	6,5	8	116	0,7997	3

Tabla 4-2. resultados prueba de compresión

Nombre de la fuente: Autor

Los mayores valores de resistencia se evidencian en los ensayos M2 Y M1; al graficar los resultados de la resistencia obtenida en Mpa para los ensayos, los valores se indican en la figura 4-3:

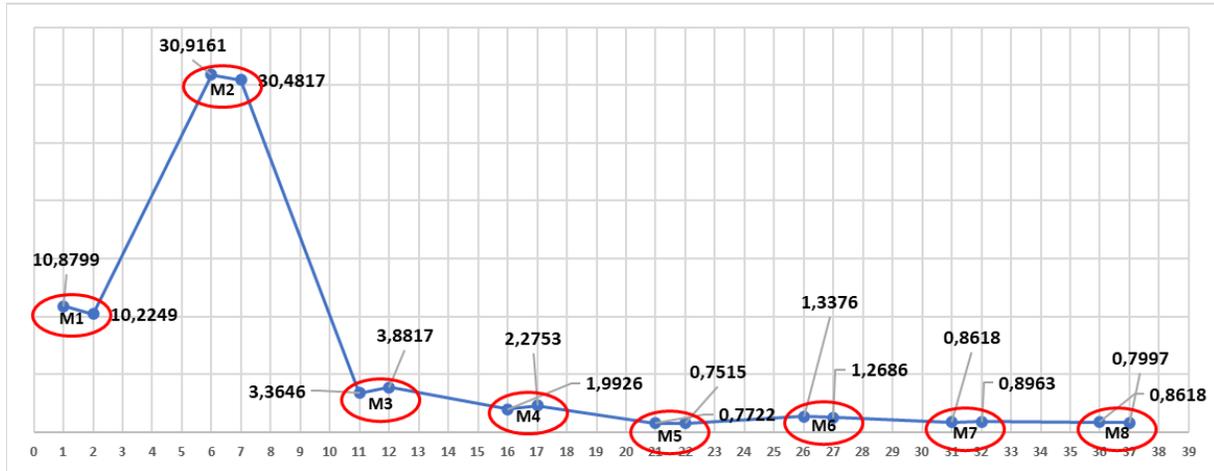


Figura 4-3. Resultados compresión a 7 días

Nombre de la fuente: Autor

Al graficar los 8 ensayos (Cada ensayo con dos repeticiones), los cuales se describen como (M1.....M8), los valores más altos de resistencia a la compresión se visualizan en los picos, los cuales corresponden a ensayos de la relación de ceniza M2, cuyo contenido es 10C/90CE, seguidos de los ensayos M1, cuyo contenido es de 30C/70CE, el ensayo M3, cuya proporción es de 25%c/25%A/50% CE; el comportamiento para las otros ensayos (M4, M5, M6, M7, M8) indicaron un descenso notable en la resistencia a la rotura. Los resultados certificados del laboratorio se presentan en el anexo 2.

Con respecto al tipo de rotura, la tabla 4-3 nos indica los siguientes aspectos:

Tipo de rotura	Muestras	distribución prueba (%)
1	0	0%
2	5	31%
3	9	56%
4	2	13%

Tabla 4-3. Distribución porcentual de la rotura en mezclas

Nombre de la fuente: Autor

De acuerdo con el tipo de rotura, se puede establecer que el 56 % de los cilindros tuvieron una rotura tipo 3 y el 31% rotura tipo 2 de acuerdo con los ensayos a 7 días.

4.1.2 Resultados Ensayos a los 14 días

Para las pruebas de resistencia a los 14 días, los diferentes ensayos se sometieron a un procedimiento que incluye el retiro de los cilindros de la piscina, ubicación de los cilindros en la TM 12 y prueba de compresión como se indica en la figura 4-4 a continuación:



Figura 4-4. Procedimiento prueba compresión a los 14 días.

Nombre de la fuente: Autor

Los resultados de la prueba de compresión arrojaron los siguientes datos a los 14 días, como se indica en la tabla 4-4 a continuación:

CILINDRO No.	FUERZA DE ROTURA (Kilo Newton)	RESISTENCIA OBTENIDA (K/Cm2)	RESISTENCIA OBTENIDA (Lb/Pulg2)	RESISTENCIA OBTENIDA (Mpa)	TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
3	108,5	135	1934	13,3345	2	Relación (%), 30% ceniza, 70% cemento
8	287	358	5117	35,2805	4	RELACIÓN (%) 10% CENIZA 90% CEMENTO
13	45,6	57	813	5,6054	3	RELACIÓN (%) 25% CENIZA 25% ARENA 50% CEMENTO
18	25,2	31	449	3,0957	2	RELACIÓN (%) 40% CENIZA 60% CEMENTO
23	7,1	9	127	0,8756	3	RELACIÓN (%) 40% CENIZA 60% CEMENTO
28	29,7	37	529	3,6473	2	RELACIÓN (%) 30% CENIZA 30% ARENA 40% CEMENTO
33	8,7	11	155	1,0687	4	RELACIÓN (%) 35% CENIZA 35% ARENA 30% CEMENTO
38	8,1	10	144	0,9928	3	RELACIÓN (%) 40% CENIZA 30% ARENA 30% CEMENTO

Tabla 4-4. Resultados prueba de compresión 14 Días

Nombre de la fuente: Autor

Al graficar los resultados de la resistencia obtenida en Mpa para los 8 ensayos, como se muestra a continuación en la figura 4-5, los datos obtenidos indican:

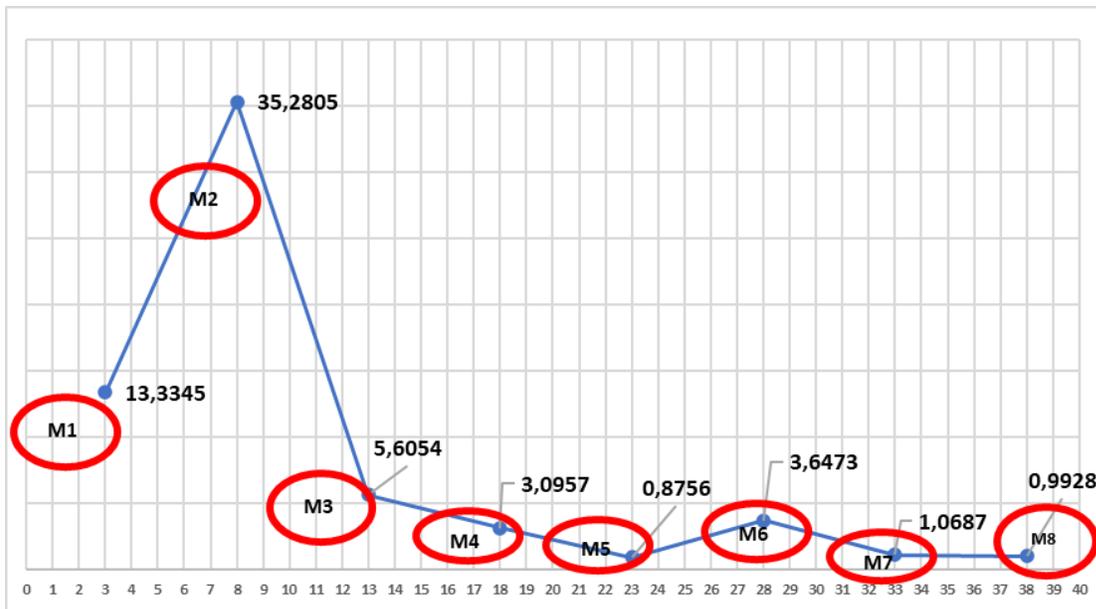


Figura 4-5. Resultados compresión a 14 días

Nombre de la fuente: Autor

La figura 4-5, representa una gráfica en la cual el eje x corresponde al ensayo (M) y el eje y los valores obtenidos de la prueba de resistencia a la compresión de los cilindros; de acuerdo con la gráfica, los valores más altos de resistencia se obtuvieron para los ensayos de la relación de ceniza (M2=10C/90CE), la cual indica 10% de ceniza y 90% de cemento, seguidos de los ensayos cuya relación fue de 30% de ceniza y 70% de cemento (M1=30C/70CE), la relación de mezcla 3 (M3), compuesta por 25% de ceniza, 25% arena y 50% de cemento; el comportamiento para las otras muestras (M4, M5, M6, M7, M8) indicaron un descenso notable en la resistencia a la rotura. Los resultados certificados del laboratorio se presentan en el anexo 2.

Ahora bien, con respecto al tipo de rotura resultante de los ensayos a los 14 días, la tabla 4-5, presenta los siguientes datos:

Tipo de rotura	# Muestras	distribución prueba (%)
1	0	0%
2	3	38%
3	3	38%
4	2	24%

Tabla 4-5. Distribución porcentual de la rotura en mezclas

Nombre de la fuente: Autor

Según la tabla 4-5, el resultado de la compresión, indica que el 38 % de los cilindros tuvieron roturas tipo 2 y 3 y el restante de los cilindros (24%) roturas tipo 4, el 31% presento una rotura tipo 2.

4.1.3 Resultados Ensayos a los 28 días

La figura 4-6 muestra el proceso realizado para los 8 ensayos mediante compresión para medir su resistencia a los 28 días de prepararse los cilindros.



Figura 4-6. Procedimiento prueba compresión a los 28 días.

Nombre de la fuente: Autor

Según, la tabla 4-6, la cual muestra la relación de datos obtenidos una vez fallados los ensayos por compresión; estos mostraron los siguientes datos a los 28 días:

CILINDRO No.	FUERZA DE ROTURA (Kilo Newton)	RESISTENCIA OBTENIDA (K/Cm2)	RESISTENCIA OBTENIDA (Lb/Pulg2)	RESISTENCIA OBTENIDA (Mpa)	TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
4	109,7	137	1959	13,4861	2	RELACIÓN (%) 30% CENIZA 70% CEMENTO
5	112,7	141	2009	13,8516	3	
9	312	389	5562	38,3487	2	RELACIÓN (%) 10% CENIZA 90% CEMENTO
10	364	454	6489	44,7401	2	
14	58,4	73	1041	7,1774	3	RELACIÓN (%) 25% CENIZA 25% ARENA 50% CEMENTO
15	49,4	62	881	6,0743	4	
19	29,3	37	522	3,5991	3	RELACIÓN (%) 40% CENIZA 60% CEMENTO
20	27,6	34	492	3,3922	2	
24	7,3	9	130	0,8963	4	RELACIÓN (%) 40% CENIZA 60% CEMENTO
25	7,3	9	130	0,8963	2	
29	16	20	285	1,965	2	RELACIÓN (%) 30% CENIZA 30% ARENA 40% CEMENTO
30	17,3	22	308	2,1236	3	
34	8,8	11	157	1,0825	2	RELACIÓN (%) 35% CENIZA 35% ARENA 30% CEMENTO
35	10,2	13	182	1,2548	2	
39	9,9	12	176	1,2135	3	RELACIÓN (%) 40% CENIZA 30% ARENA 30% CEMENTO
40	11,6	14	207	1,4272	4	

Tabla 4-6. Resultados prueba de compresión 28 Días

Nombre de la fuente: Autor

La figura 4-7, muestra el comportamiento de los resultados de los 8 ensayos realizados por el método de compresión a los 28 días, los cuales se expresan en unidades de Mpa, de acuerdo con lo anterior se tiene:

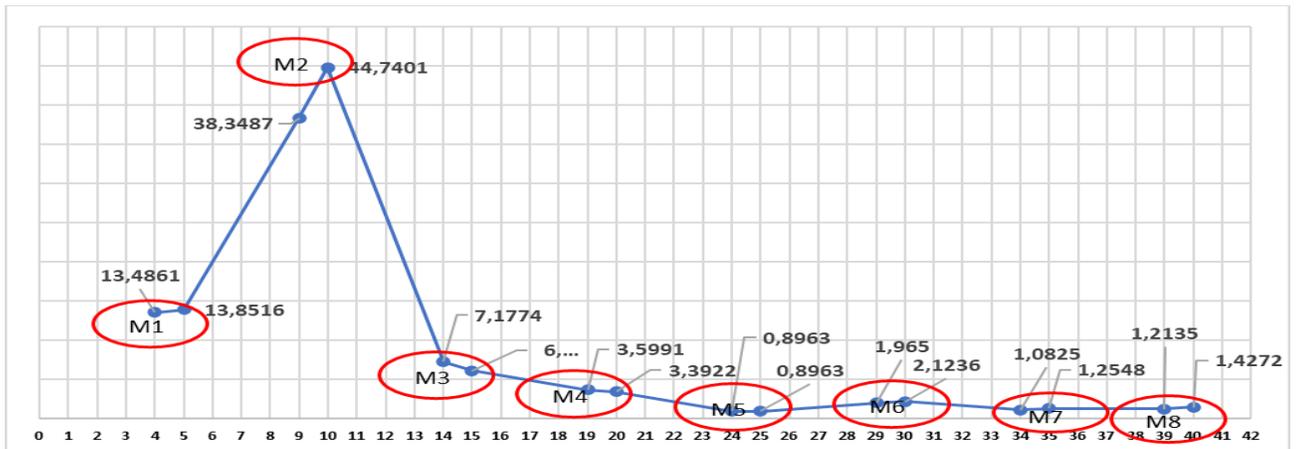


Figura 4-7. Resultados compresión a 28 días

Nombre de la fuente: Autor

De acuerdo con la figura 4-7, en donde se representan gráficamente en el eje X los ensayos realizados y en el eje Y, los valores de las resistencias obtenidas, se puede indicar, que los valores más altos de resistencia se obtuvieron para los ensayos de la relación de ceniza (M2=10C/90CE), la cual indica 10% de ceniza y 90% de cemento, seguidos de los ensayos cuya relación fue de 30% de ceniza y 70% de cemento (M1=30C/70CE), la relación de mezcla 3 (M3), compuesta por 25% de ceniza, 25% arena y 50% de cemento; el comportamiento para las otras muestras (M4...M8), indico un descenso notable en la resistencia a la rotura. Los resultados certificados del laboratorio se presentan en el anexo 3.

Con respecto a los resultados sobre el tipo de rotura, la tabla 4-7 muestra el porcentaje de distribución obtenido en las muestras falladas a los 28 días:

Tipo de rotura	# Muestras	distribución prueba (%)
1	0	0%
2	8	50%
3	5	31%
4	3	19%

Tabla 4-7. Distribución porcentual de la rotura en mezclas

Nombre de la fuente: Autor

Según, la tabla 4-7, el tipo de rotura con mayor frecuencia de distribución es para la rotura tipo 2, con un 50 %; el 31 % mostró una rotura tipo 3 y el 19% restantes presento roturas tipo 4.

De acuerdo con la norma Técnica Colombiana NTC-4506 los valores obtenidos para este ensayo concluyen que el ensayo M2 Y M1 tienen una resistencia alta para ser usado como bloque en mampostería.

Resistencia a la compresión a los 28 d (Rc28)^B, evaluada sobre el área neta promedio (Anp)			Absorción de agua (Aa) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m³		
Mínimo^B, MPa			Promedio de 3 unidades, Maximo, %		
Clase	Promedio de 3 unidades	Individual	Peso liviano, menos de 1 680 kg/m³	Peso mediano, de 1 680 kg/m³ hasta menos de 2 000 kg/m³	Peso normal, 2 000 kg/m³ o más
Alta	13	11	15 %	12 %	9 %
Baja	8	7	18 %	15 %	12 %

Al compara este resultado se evidencia un valor superior en Mpa de los cilindros individuales

CILINDRO No.	FUERZA DE ROTURA (KiloNewton)	RESISTENCIA OBTENIDA (K/Cm2)	RESISTENCIA OBTENIDA (Lb/Pulg2)	RESISTENCIA OBTENIDA (Mpa)	TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
4	109,7	137	1959	13,4861	2	RELACIÓN (%) 30%
5	112,7	141	2009	13,8516	3	CENIZA 70% CEMENTO
9	312	389	5562	38,3487	2	RELACIÓN (%) 10%
10	364	454	6489	44,7401	2	CENIZA 90% CEMENTO

Al realizar un análisis general de la resistencia mecánica a la compresión de los cilindros fallados se tiene:

Muestras	7 días	14 días	28 días
M1	10,2249	13,3345	13,4861
M2	30,4817	35,2805	38,3487
Y	20,3533	24,3075	25,9174

Tabla 4-8. Análisis de muestras que cumplen parámetros de resistencia a 7, 14 y 28 día

Nombre de la fuente: Autor

Se observa una variación de los valores de resistencia mecánica a la compresión de las muestras de mayor valor que cumplen con los parámetros de NTC 4076; según lo anterior la tendencia de los promedios se presenta en la gráfica correspondiente:

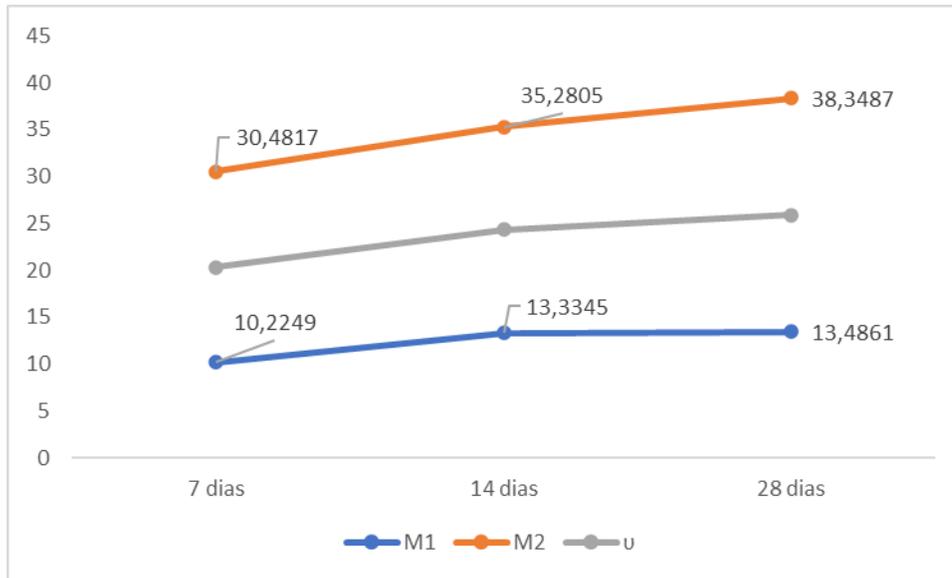


Figura 4-8. Comportamiento

Nombre de la fuente: Autor

4.2 Selección de ensayo bajo parámetros de resistencia a la compresión

De acuerdo con los resultados, la muestra que presento mayor resistencia mecánica a la compresión es la M2 y M1, cuya relación de mezcla fue de 10%C/90CE, 30%/70, como se indica en la tabla4-8 a continuación:

Ensayos	UN	1 ensayo		2 ensayo		3 ensayo		4 ensayo	
		%	peso o volumen						
% ceniza	g	30	2598,75	10	1067	25	3032	40	2961,5
% cemento	g	70	6168,8	90	9603	50	6064	60	4441
% Arena	g					25	3032		
% agua		Cm^3	4.311		3.950		5.579		5.275

Tabla 4-9.selección ensayo

Nombre de la fuente: Autor

4.3 Resultados consumo de materiales

De acuerdo con los ensayos realizados, el comportamiento del consumo de materiales para la preparación de los ensayos muestra los siguientes resultados como se indican en la figura 4.8

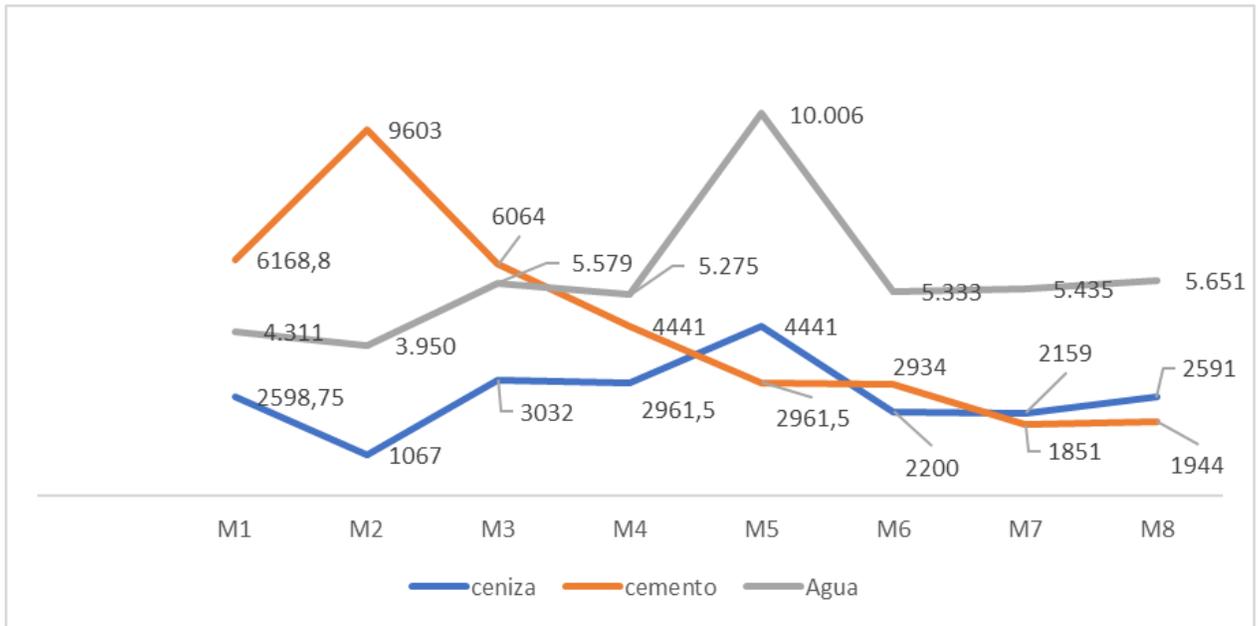


Figura 4-9 . Relación de consumo de materiales por ensayo

Nombre de la fuente: Autor

De la figura 4-8 se puede establecer o concluir que a medida que se aumenta el porcentaje de ceniza, aumenta el consumo de agua, lo cual se evidencio y midió a partir del volumen de agua adicionada a medida que se aumentaba el porcentaje en kg de ceniza, lo que valido el hecho de que la ceniza presenta una mayor capacidad de absorción; esta afirmación contrasta con los estudios de Espinosa et al (2019) los cuales concluyeron:

“De acuerdo con el análisis estadístico, se encuentra relación de carácter directamente proporcional entre el porcentaje de ceniza y la cantidad de agua. Es decir, a medida que aumenta el porcentaje de ceniza, aumenta la cantidad de agua requerida para el asentamiento y fluidez establecido. Esto es congruente con el alto porcentaje de absorción de 277%” (Erazo, Lara, & Prado, 2019, págs. 97-109).

4.4 Análisis económico

Para efectos de análisis económico se toma la relación del valor en pesos, del ensayo y se multiplican por el valor de la unidad de análisis como se indica a continuación en la tabla 4-9. El valor comercial de un bloque de concreto está en un rango de \$3700 a \$4.500

Descripción cuadro de costo	Cat. Total	Un	Vr Total	Vr/un	Un costo
MOD	270	Horas	\$ 908.526	\$ 56,08	minuto
Ceniza	50	Kilogramo	\$ 500	\$ 0,01	gramos
Cemento	50	Kilogramo	\$ 15.000	\$ 0,30	gramos
Agua	1	metro cubico	\$ 2.100	\$ 0,00	Cm3

Tabla 4- 10. Estructura costo unitario materiales y mano de obra

Nombre de la fuente: Autor

La tabla 4-9 describe una estructura de costo, en la que se incluyeron los siguientes ítems:

MOD= Corresponde a Mano de obra directa, la cual se proyecta sobre la base de un salario mínimo legal vigente de \$ 908.526, trabajando 270 horas/mes.

Ceniza = Representa el valor comercial de un bulto de ceniza x 50 Kg, el cual es de \$500.

Cemento= Representa el valor comercial de un bulto x 50 Kg, el cual es de \$15.000

Agua= Indica el valor del metro cúbico, tomado como base para realizar conversiones de costo por consumo en centímetro cúbico según ensayos; como estos fueron los materiales empleados para la preparación de los ensayos, se tomarán los valores unitarios para proyectar los valores de cada ensayo en relación con las proporciones en unidades de Kg, empleadas para su fabricación.

De acuerdo con lo anterior se realiza el cálculo de las muestras que aplican según criterio de resistencia (M2, M1), como se indica en la tabla 4-10 presentada a continuación:

costo preparación ensayo M2			
Descripción	Cant. Ensayo	Vr/un medida	Vr total
MOD	2	\$ 56	\$ 112
Ceniza	1067	\$ 0,01	\$ 11
Cemento	9603,0	\$ 0,30	\$ 2.881
Agua	3950	\$ 0,00	\$ 8
costo total bloque			\$ 3.012
Costo Preparación ensayo M1			
Descripción	Cant. Ensayo	Vr/un medida	Vr total
MOD	2	\$ 56	\$ 112
Ceniza	2598,75	\$ 0,01	\$ 26
Cemento	6168,8	\$ 0,39	\$ 2.406
Agua	7840	\$ 0,01	\$ 78
costo total bloque			\$ 2.622

Tabla 4-11. Costo producir un bloque de concreto con ensayo M2 y M1

Nombre de la fuente: Autor

La tabla 4-10 indica que en el caso del ensayo M1 hay una mayor proporción de ceniza frente al ensayo M2, lo que en términos de costo representa un ahorro frente al consumo de cemento, sin embargo, al emplear más ceniza, se aumenta el consumo de agua en casi el doble de cm³, lo que a nivel de costo representa un mayor valor, el cual no tiene un impacto fuerte sobre el costo total del bloque.

Sin embargo, en cuanto al costo del ensayo M2 y M1, el primero está por debajo del M1; pro ambos están muy por debajo de los ladrillos comerciales cuyos rangos están entre \$3.500 a \$ 4.700.

En términos generales al emplear ceniza de cascarilla de arroz, como agregado se obtuvieron ensayos con altos niveles de resistencia a la compresión; lo que en costo puede representar ahorros importantes a gran escala y a nivel ambiental un impacto positivo a partir del aprovechamiento de este.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se elaboraron 8 muestras en las siguientes proporciones ensayos con 5 repeticiones cada uno para realizar pruebas de comprensión a 7, 14 y 28 días; de acuerdo con lo anterior se estableció que existe una relación directamente proporcional entre la ceniza y el consumo de agua en los ensayos; es decir a mayor cantidad de ceniza mayor es la demanda de agua para la preparación de la mezcla.

De acuerdo con las pruebas de comprensión a la rotura se identificó que las muestra M1 y M2 presentaron los mayores valores de resistencia mecánica a la comprensión, las proporciones de la mezcla son 10%C/90CE (M1) y 30%/70 (M2)

Al fallar los cilindros para la realización de pruebas de resistencia mecánica se estableció que solo 2 mezclas (10%C/90CE (M1) y 30%/70 (M2)) cumplieron con los parámetros de resistencia a la comprensión bajo la norma NTC 4076, por lo tanto, por ser morteros de alta resistencia estos pueden ser usados para la elaboración de bloques de concreto.

En cuanto al costo de fabricación los resultados indicaron a partir de los ensayos seleccionados su viabilidad para su construcción siendo más bajo su valor comparado con el comercio que pueden representar ahorros en un rango de 19 a 30%, sin considerar los ahorros que pueden obtenerse en producción a gran escala.

De acuerdo con los ensayos fallados se estableció que el tipo de rotura predominante en pruebas de comprensión a los 7 días fue de tipo 3 que indica fisuras de tipo vertical encolumnadas a través de ambos extremos lo cual es propio de agregados finos, conos mal formados en cilindros donde hay una mayor proporción de cemento; para el caso de las pruebas a los 14 días el tipo de rotura resultante fue 2 lo que indica conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, como no bien definido en el otro extremo indicando una rotura normal para morteros alta resistencia, fallas tipo 3 y la falla tipo 4 que indica fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos; a los 28 días el 50% de los cilindros tuvieron una rotura tipo 2 que como se describió anteriormente muestran la presencia de fisuras verticales a través de los extremos.

5.2 Recomendaciones

Se debe realizar ensayos con rangos de menor proporción o contenido de ceniza de cascarilla de arroz con el fin de establecer límites en las proporciones que cumplan con la resistencia establecidas en la Norma.

Emplear otros materiales cuyas propiedades químicas sean homónimas o parecidas a las de la ceniza.

Se recomienda realizar ensayos con arcilla para establecer el comportamiento de la ceniza, esto debido a que el mercado a la demanda de ladrillo macizo es alto.

6. Bibliografía

- Aconstructoras. (12 de Septiembre de 2021). Obtenido de https://www.aconstructoras.com/product_info.php?products_id=4544
- Aguilar S, J. (2009). *ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN COLOMBIA*. SINCELEJO: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/211/2/333.794S571.pdf>.
- ANZULES, R. D., & BUSTAMANTE, R. J. (2016). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA ELABORACION DE LADRILLOS ECOLOGICOS COMO MATERIA PRIMA PARA LA CONSTRUCCION.
- Arcos, C. A., & Rodríguez P, J. E. (2007). *La cascarilla de arroz como fuente de SiO₂*. Medellín: UA.
- Arrieta F, J. (2001). *Fabricación de bloques de concreto con mesa vibradora*. Lima (Perú): UNI.
- BALLESTEROS, C. (2016). ECOBLOQUES PARA APLICACIONES NO ESTRUCTURALES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION.
- Bloqueras. (1 de Septiembre de 2021). Obtenido de <https://bloqueras.org/bloques-concreto/>
- Cáceres, S., & Quispe, G. (2018). Use of the flying ash in the dosing of the concrete as a substitute for the cemen. *Revista de Investigaciones Altoandinas* , 225-234.
- CATORCE 6. (19 de Febrero de 2020). Obtenido de <https://www.catorce6.com/denuncia/18332-quema-de-cascarilla-de-arroz-afecta-la-calidad-del-aire-en-yopal>
- CEMEX. (2000). *Manual de constructor*. Mexico D.F.: CEMEX.
- Cemex. (15 de Septiembre de 2021). Obtenido de <https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento>
- CEMIX. (12 de Febrero de 2021). Obtenido de <https://www.cemix.com/tipos-de-mortero-en-la-construccion/>
- Construmatica. (21 de Noviembre de 2021). Obtenido de <https://www.construmatica.com/construpedia/Arena>
- Construyebien. (5 de Diciembre de 2019). Obtenido de <https://www.construyebien.com/blog/disenio-mezclas-concreto/>
- Delvasto A, S. (2017). *Investigación de un material cementicio ecoeficiente*. Santiago de Cali: U.Valle.
- emarQ. (31 de Marzo de 2021). Obtenido de <https://www.emarq.net/blog/bloques-de-hormigon>

- Erazo, W., Lara, J., & Prado, L. (2019). EVALUATION OF THE PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT-BASED SPECIMENS USING ASHES OF RICE SHELL AS A PARTIAL SUBSTITUTE FOR THE CEMENT. *Revista Erasmus Semilleros de Investigación*, 97-109.
- García, M. A. (2011). *DESARROLLO DE UN NUEVO LADRILLO DE TIERRA CRUDA, CON AGLOMERANTES Y ADITIVOS ESTRUCTURALES DE BASE VEGETAL*. MADRID.
- ICONTEC. (1997). *Nomra Técnica Colombia NTC-4026*. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC. (2000). *Norma Técnica Colombiana NTC550*. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC. (2001). MUESTREO Y ENSAYO DE PREFABRICADOS DE CONCRETO NO REFORZADOS, VIBROCOMPACTADOS. *ICONTEC*.
- Instron. (10 de Octubre de 2018). *Instron*. Obtenido de Instron: <http://www.instron.com.ar>
- López, N., & Hernández, A. (2018). *Obtención y Caracterización de materiales cementados a base de cenizas volantes como uso alterativo del cemento portland*. Bogotá: U.Catolica.
- Mattey, P. E., Robayo, R. A., Díaz, J. E., Arjona, S. D., & Monzó, J. (2013). INFLUENCIA DEL MEZCLADO EN DOS ETAPAS EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS DE MAMPOSTERIA CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO FINO. *Revista Colombiana de Materiales* , 242-249.
- Molina, N. F. (2016). *RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO ADICIONES EN LA ELABORACIÓN DE BLOQUES NO ESTRUCTURAL*. Bogota: Unigranadina.
- Muñoz, A. (2022). *Morteros de cemento Portland probados con dos superplastificantes: estudio de caso para la reducción de cemento y agua en concretos*. Bucaramanga (Colombia): Universidad industrial de santander.
- ONU. (20 de Noviembre de 2021). Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/en-busca-de-la-extraccion-sostenible-de-arena>
- Prada, A., & Cortés, C. (2011). *La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: Una alternativa de aprovechamiento integral*. Villavicencio (Colombia): U. Llnos.
- Restrepo R, Y. T. (2018). *Propuesta para la fabricación de adoquines en mortero mezclados con cascarilla de arroz para uso en la construcción*. Bogotá : U. Uniminuto.
- Roux Gutiérrez, R. S., & Gallegos Sánchez, D. P. (2015). CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE, ANÁLISIS DE RETRASO TÉRMICO A BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS. *Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo*, 59-71.
- Sika. (2014). *Curado del concreto*. Bogotá: Sika.

Suárez P, A. M. (2017). *Caracterización físico mecánica y minerología de los agregados extraídos*. Bogotá: UST.

Torres, J. M. (16 de Noviembre de 2021). Usos de la cascarilla de arroz. (Santiago, Entrevistador)

Vinueza s, N. D., Macancela C, M. F., & Valle B, A. W. (2021). *Diseño de modelo de bloque ecológico con mezcla de fibra de maguey y polietileno*. Guayaquil (Ecuador): Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

7. Anexos

Anexo 1. hoja de registro preparación ensayos por peso

Ensayos	Específico	UN	1 ensayo		2 ensayo		3 ensayo		4 ensayo	
			%	peso o volumen						
% ceniza		Kg	30%	2598.75gr	10%	1067 gr	25%	3032 gr	40%	2961.5 gr
% cemento		Kg	70%	6168.8 gr	90%	9603 gr	50%	6064 gr	60%	4441 gr
% arena		Kg					25%	3032 gr		
% agua		cm ³		4311 cm ³		3950 cm ³		5579 cm ³		5275 cm ³

Ensayos	Específico	UN	5 ensayo		6 ensayo		7 ensayo		8 ensayo	
			%	peso o volumen	%	peso o volumen	%	peso o volumen	%	peso o volumen
% ceniza	60%	Kg	60%	4441 gr	30%	2200 gr	35%	2159	40%	2591
% cemento	40%	Kg	40%	2961.5 gr	40%	2934 gr	30%	1851	30%	1944
% arena		Kg			30%	9900 gr	35%	2159	30%	1944
% agua		cm ³		10006 cm ³		5333 cm ³		5435 cm ³		5651 cm ³

Unidades de conversión: + Aditivo B cm³

Anexo 2. resultados laboratorio



Servicios de Laboratorio de Concreto y Pavimentos.
Estudios de Suelos, Construcción,
Consultoría e Interventoría de
Obras Cíviles y Arquitectura.

COMPRESIÓN SIMPLE AL CONCRETO

OBRA:		MORTERO CON VARIACION DE % DE CENIZA				FECHA:		11/06/2021	
LOCALIZACIÓN:		LABORATORIO DE SUELOS ESSUING				NORMA:		BNV-13	
SOLICITANTE:		SEÑOR NICOLAS GARRIDO CEBALDE - SANTIAGO CUEVAS GONZALEZ				ENSAJO:		E-412	
DIMENSION DE LA MUESTRA:		100 x 100 mm							
AREA:		81.71							

ORDEN NO.	FECHA FUNDIDA	FECHA ROTURA	ESB			RESISTENCIA ESPECIFICADA (MPa)	FUERZA DE ROTURA (kN)	RESISTENCIA OBTENIDA (MPa)	RESISTENCIA OBTENIDA (MPa)	TIPO DE ROTURA	PROMEDIO %	OBSERVACIONES
			1	2	3							
1	12/07/21	18/07/21	X			88.8	110	127.9	3			RELACION (%) 30% CENIZA 70% CEMENTO
2	12/07/21	18/07/21	X			85.2	104	140.3	4			
3	12/07/21	26/07/21		X		106.5	136	183.4	2			
4	12/07/21	09/08/21			X	106.7	137	190.8	2			
5	12/07/21	09/08/21			X	112.7	141	200.8	3			
6	12/07/21	18/07/21	X			251.5	314	448.4	3			RELACION (%) 10% CENIZA 90% CEMENTO
7	12/07/21	18/07/21	X			245.8	308	442.1	3			
8	12/07/21	26/07/21		X		287.9	368	511.7	4			
9	12/07/21	09/08/21			X	312.8	389	552.2	2			
10	12/07/21	09/08/21			X	304.8	404	549.3	2			
11	12/07/21	18/07/21	X			27.4	34	48.8	2			RELACION (%) 25% CENIZA 25% ARENA 50% CEMENTO
12	12/07/21	18/07/21	X			31.8	39	56.3	3			
13	12/07/21	26/07/21		X		45.8	57	81.3	3			
14	12/07/21	09/08/21			X	56.4	73	104.1	3			
15	12/07/21	09/08/21			X	49.4	62	88.1	4			
16	13/07/21	29/07/21	X			16.2	20	28.8	2			RELACION (%) 40% CENIZA 60% CEMENTO
17	13/07/21	29/07/21	X			18.5	23	33.0	3			
18	13/07/21	27/07/21		X		25.2	31	44.8	2			
19	13/07/21	13/08/21			X	26.3	37	52.2	3			
20	13/07/21	13/08/21			X	27.8	34	49.2	2			

OBSERVACIONES



Diagrama 1



Diagrama 2



Diagrama 3



Diagrama 4



Diagrama 5



ESSUING
ESTUDIOS DE SUELOS E INGENIERIA
LABORATORIO DE SUELOS E INGENIERIA CIVIL
ESP. EN SUELOS, CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE VIAS
ESP. EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

Carrera 10 No. 2 - 86
Estadio Urdaneta - Neiva - Huila
321 216 7498 - 313 244 0351
laboratoriodesuelos14.essuing@gmail.com

Anexo 3. Resultados Laboratorio 2



Consultoría e Intervención de
Obras Civiles y Arquitectura.

COMPRESIÓN SIMPLE AL CONCRETO

OBRA:		MURADO CON VARIADOR DE 5% DE CEMENTO				FORMA:		1100/100	
LOCALIZACIÓN:		LABORATORIO DE ENSAYO ESSUNGA				NORMA:		EN-12	
MOVILIZANTE:		SEÑAL RÚDOLFO GARCÍA-CRISTAL - SANTIAGO GARCÍA-GONZÁLEZ				ENSAYO:		E-10	
DIMENSION DE LA MUESTRA:		100 x 100 mm							
ÁREA:		81.21							

Número	Módulo	Módulo	EJE			Relación de	Relación de	Relación de	Relación de	Porcentaje	Observaciones
			1	2	3						
21	100701	200701	8			8.0	8	112	2		
22	100701	200701	8			8.1	8	109	3		RELACIÓN 5% CEMENTO
23	100701	210701	8			7.1	8	107	3		4% CEMENTO
24	100701	100801		8		7.3	8	100	4		
25	100701	100801			8	7.3	8	100	3		
26	140701	210701	8			10.0	14	104	3		
27	140701	210701	8			10.3	13	106	4		RELACIÓN 5% CEMENTO
28	140701	200701	8			10.7	17	102	2		5% CEMENTO
29	140701	110801		8		10.0	10	100	3		4% CEMENTO
30	140701	110801			8	11.2	10	100	3		
31	140701	210701	8			7.3	8	100	3		
32	140701	210701	8			7.3	8	100	3		RELACIÓN 5% CEMENTO
33	140701	200701	8			8.7	11	100	4		5% CEMENTO
34	140701	110801		8		8.8	11	100	3		4% CEMENTO
35	140701	110801			8	10.2	10	100	3		
36	140701	210701	8			7.0	8	100	3		
37	140701	210701	8			8.0	8	110	3		RELACIÓN 5% CEMENTO
38	140701	200701	8			8.1	10	104	3		5% CEMENTO
39	140701	110801		8		8.0	12	100	3		4% CEMENTO
40	140701	110801			8	11.8	14	107	4		

Observaciones:









ESSUNGA
LABORATORIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIONES

ESP. EN OBRAS, CONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN DE VIAL
ESP. EN DISEÑO, MAQUINERÍA Y PAQUETERÍA

Carrera 10 No. 2 - 86
Estado Urdaneta - Neiva - Huila