

**PROPUESTA PARA LA FABRICACION DE ADOQUINES EN MORTERO  
MEZCLADOS CON CASCARILLA DE ARROZ PARA USO EN LA CONSTRUCCION  
DE LA CIUDAD DE GIRARDOT EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

**YENNIFER TATIANA RESTREPO RAMOS**

**JOSE RUBEN AYA RODRIGUEZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**

**GIRARDOT-CUNDINAMARCA**

**2018**

**PROPUESTA PARA LA FABRICACION DE ADOQUINES EN MORTERO  
MEZCLADOS CON CASCARILLA DE ARROZ PARA USO EN LA CONSTRUCCION  
DE LA CIUDAD DE GIRARDOT EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

**YENNIFER TATIANA RESTREPO RAMOS**

**JOSE RUBEN AYA RODRIGUEZ**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO  
CIVIL**

**TUTOR INGENIERO CIVIL**

**MANUEL RICARDO BALLESTEROS**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**

**GIRARDOT-CUNDINAMARCA**

**2018**

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

---

---

**CLARA EUGENIA SEGOVIA BORRAY**

**Jurado 1**

**LUIS EDGARDO GARCÍA DÍAZ**

**Jurado 2**

## DEDICATORIA

A **Dios** creador de todas las cosas, por darme la oportunidad de vivir, ser mi apoyo incondicional, mi fortaleza, mi guía, quien me ilumina a diario para cumplir todas mis metas y sueños anhelados.

A mi madre, **Nancy Ramos**, por darme la vida, creer en mí. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, pero más que nada por tanto amor.

A mi padre, **Oscar Restrepo** (QEPD), que a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A ese ser de luz que ilumina mis días con su amplia sonrisa y hace que mi vida sea maravillosa a su lado, gracias por ser mi motor y brindarme el amor más puro que puede existir, a ti hija de mi vida **Isa Bella Salazar**.

A mi compañero de vida, mi esposo **Felipe Salazar**, por siempre aconsejarme, apoyarme y brindarme su amor incondicional.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona. A mis amigos que han sido apoyo, alegría y compañía constante.

**Yennifer Tatiana Restrepo Ramos**

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por haberme permitido llegar hasta este punto, porque en los momentos de estrés vividos durante toda la carrera me regalaste toda la paciencia para continuar y no desfallecer, me diste salud para lograr mis objetivos, además de tu infinita bondad y amor.

A mi madre, **Nancy Ramos**, que con su esfuerzo y dedicación me ayudo a culminar mi carrera universitaria y me dio el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía imposible.

A mi hermano **Sebastián Restrepo**, que siempre estuvo atento en el cuidado de mi niña mientras me dedicaba en alcanzar esta meta.

A mi esposo **Felipe Salazar**, que a través de sus consejos, amor y paciencia me ayudo alcanzar este objetivo.

A mis maestros, el Ing. **Manuel Ballesteros** por ser un excelente tutor, brindarme sus conocimientos, apoyo y asesoramiento en la parte técnica. Al Ing. **Jhon Jairo Reinel** por la motivación brindada para realizar este trabajo y toda la ayuda en la parte investigativa.

Agradezco a todos los docentes que marcaron cada etapa de mi camino universitario, gracias por su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional de esta excelente universidad.

A mis amigos: Anderson, Sebastián, Danny, Pedro, Manuel, Margy, José David, Juan Diego por los buenos y malos momentos, en especial a Betty Baquero mi amiga incondicional y José Aya por hacer parte de este proyecto. Todos por siempre en mi corazón.

**Yennifer Tatiana Restrepo Ramos**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico principalmente a DIOS por ser el inspirador y darme fuerzas para concluir este proceso de formación que anhele con mucho deseo.

A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida

A los docentes y la universidad por enseñarme y brindarme conocimientos para poder alcanzar este logro académico.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos conmigo para seguir surgiendo en nuestro trabajo.

**José Rubén Aya Rodríguez**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a DIOS por bendecirme en la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, a mis padres que con su amor, paciencia y esfuerzo han permitido cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía., y a todos mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso.

A mis amigos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

A los ingenieros por haberme guiado no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y brindarme todo su apoyo y conocimientos.

A mi universidad UNIMINUTO por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecer mis conocimientos a lo largo de la preparación de esta profesión.

A todos en conjunto que me hicieron ver, que todo se puede lograr con esfuerzo y dedicación.

Muchísimas gracias de corazón por uno de los sueños cumplidos hasta el día de hoy y que me abrirán grandes puertas para un futuro inexplicable

**José Rubén Aya Rodríguez**

## CONTENIDO

RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	18
INTRODUCCION.....	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	21
2. JUSTIFICACIÓN.....	23
3. OBJETIVOS.....	24
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	24
4. MARCO REFERENCIAL.....	25
4.1 MARCO INSTITUCIONAL.....	25
4.2 MARCO CONTEXTUAL.....	26
4.3 MARCOTEORICO.....	28
4.4 MARCOCONCEPTUAL.....	30
4.5 ESTADO DEL ARTE.....	31
4.6 MARCO LEGAL.....	32
5. METODOLOGIA.....	33
5.1 FASES DEL RPOYECTO.....	33
5.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	35
5.3 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION.....	35
5.4 TIPO DE INVESTIGACION.....	36
5.5 VARIABLES.....	37
5.6 RECOLECCION DE LA INFORMACION SECUNDARIA.....	38
5.6.1 ADOQUINES.....	38
5.6.1.1 ¿QUE ES UN ADOQUIN?.....	38
5.6.1.2HISTORIA DEL ADOQUIN.....	38

5.6.1.3 TIPOS DE ADOQUIN.....	39
5.6.1.4 VENTAJAS EN LA UTILIZACIÓN DE ADOQUINES.....	40
5.6.1.5 USOS Y APLICACIONES.....	41
5.6.2 CASCARILLA DE ARROZ.....	44
5.6.2.1 ¿QUE ES LA CASCARILLA DE ARROZ? .....	44
5.6.2.2 COMPOSICIONES DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	44
5.6.2.3 USOS DE LA CASCARILLA DE ARROZ.....	47
5.6.2.4 USO CONSTRUCTIVO.....	48
5.6.2.5 PROCESO INDUSTRIAL DEL ARROZ.....	49
5.6.3 DIOXIDO DE CARBONO.....	50
5.6.4 EFECTO INVERNADERO.....	51
5.7 RECOLECCION DE LA INFORMACION PRIMARIA.....	52
5.7.1 INVESTIGACION A NIVEL INTERNACIONAL.....	52
5.7.1.1 EVALUACION DEL DESEMPEÑO DE HORMIGONES CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO MATERIAL CEMENTICIO SUPLEMENTARIO.....	52
5.7.1.2 CÁSCARA DE ARROZ PARA LEVANTAR CASAS.....	53
5.7.1.3 MINIHORMIGONES CON CASCARILLA DE ARROZ NATURAL Y TRATADA COMO AGREGADO GRANULAR.....	53
5.7.2 INVESTIGACION A NIVEL NACIONAL.....	54
5.7.2.1 ARROZ EN CONCRETO.....	54
5.7.2.2 USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO MATERIAL ALTERNATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	54
5.7.2.3 CON CASCARILLA DE ARROZ SE HACEN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.....	55
5.8 PROCESOS Y PROCEDIMIENTO.....	56
5.8.1 PROCESO DE CONVERSION DE CASCARILLA CRUDA A CENIZA.....	56

5.8.2	PROCEDIMIENTO DE LA ELABORACION DE LOS ADOQUINES.....	57
6.	RESULTADOS.....	59
6.1	ECUACIONES APLICADAS.....	59
6.2	ENSAYOS DE BLOQUES COMERCIALES.....	61
6.2.1	ENSAYO A FLEXION.....	61
6.2.2	ENSAYO A COMPRESION.....	63
6.2.3	ENSAYO DE ABSORCION.....	65
6.3	ENSAYOS DE BLOQUES DE MORTERO CON CASCARILLA DE ARROZ CRUDA.....	66
6.3.1	CURADO EN AGUA-ENSAYOS A FLEXION.....	66
6.3.2	CURADO EN AGUA -ENSAYOS A COMPRESION.....	68
6.3.3	CURADO AL AMBIENTE - ENSAYOS A FLEXION.....	69
6.3.4	CURADO EN AMBIENTE -ENSAYOS A COMPRESION.....	71
6.3.5	CURADO EN AGUA - ENSAYOS A FLEXION.....	73
6.3.6	CURADO EN AGUA -ENSAYOS A COMPRESION.....	75
6.4	ENSAYOS DE BLOQUES DE MORTERO CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ.....	76
6.4.1	CURADO EN AGUA -ENSAYOS A FLEXION.....	76
6.4.2	CURADO EN AGUA -ENSAYOS A COMPRESION.....	78
6.4.3	CURADO EN AMBIENTE -ENSAYOS A FLEXION.....	80
6.4.4	CURADO EN AMBIENTE -ENSAYOS A COMPRESION.....	81
6.5	ENSAYOS DE BLOQUES EN EL LABORATORIO EDYCONST.....	84
6.5.1	ANALISIS ENSAYOS EN LABORATORIO DE EDYCONST.....	88

6.5.2 GRAFICAS RESULTADOS ENSAYOS A FLEXION.....	90
6.5.3 GRAFICAS RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESION.....	92
6.5.4 ANALISIS GENERAL RESULTADOS EDYCONS.....	94
7. DISCUSION DE RESULTADOS.....	95
8. CONCLUSIONES.....	97
9. RECOMENDACIONES.....	99
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	100
11. ANEXOS.....	103

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis Químico de la composición de la cascarilla de arroz en Colombia.....	45
Tabla 2. Composición mineral de ceniza en la cascarilla de arroz en Colombia.....	46
Tabla 3. Datos obtenidos del ensayo a flexión con los adoquines comerciales.....	61
Tabla 4. Resultados del Módulo de Rotura de los adoquines comerciales.....	62
Tabla 5. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los bloques comerciales.....	63
Tabla 6. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los bloques comerciales.....	64
Tabla 7. Datos de los bloques comerciales durante ensayo de absorción.....	65
Tabla 8. Resultados de ensayo de absorción de los bloques comerciales.....	65
Tabla 9. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los bloques de mortero con 20% cascarilla de arroz.....	66
Tabla 10. Resultados del Módulo de Rotura de los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz.....	67
Tabla 11. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz.....	68
Tabla 12. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz .....	68
Tabla 13. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los bloques de mortero con 20% cascarilla de arroz.....	70
Tabla 14. Resultados del Módulo de Rotura de los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz .....	70
Tabla 15. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz .....	71
Tabla 16. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz.....	72
Tabla 17. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los bloques de mortero con 30% cascarilla de arroz.....	73

Tabla 18. Resultados del Módulo de Rotura de los bloques de mortero con el 30% de cascarilla de arroz.....	74
Tabla 19. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los bloques de mortero con el 30% de cascarilla de arroz.....	75
Tabla 20. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz.....	75
Tabla 21. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los bloques de mortero con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz .....	77
Tabla 22. Resultados del Módulo de Rotura de los bloques de mortero con el 20% de Ceniza de cascarilla de arroz.....	77
Tabla 23. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los bloques de mortero con el 20% de Ceniza de cascarilla de arroz .....	78
Tabla 24. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz .....	79
Tabla 25. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los bloques de mortero con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz – curado ambiente .....	80
Tabla 26. Resultados del Módulo de Rotura de los bloques de mortero con el 20% de Ceniza de cascarilla de arroz-curado ambiente .....	80
Tabla 27. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los bloques de mortero con el 20% de Ceniza de cascarilla de arroz .....	81
Tabla 28. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz .....	82
Tabla 29. Resultados de bloques sometidos a ensayo de compresión.....	84
Tabla 30. Resultados de absorción de bloques sometidos a ensayo de compresión.....	85
Tabla 31. Resultados de bloques sometidos a ensayo de flexión. ....	86
Tabla 32. Resultados de absorción de bloques sometidos a ensayo de flexión. ....	87

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines comerciales.....	62
Grafica 2. Progresión de la resistencia a la compresión en adoquines comerciales .....	64
Grafica 3. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en agua.....	67
Grafica 4. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en agua. ....	69
Grafica 5. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado al ambiente.....	71
Grafica 6. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en Ambiente. ....	73
Grafica 7. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 30% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en agua. ....	74
Grafica 8. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 30% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en Ambiente....	76
Grafica 9. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz en diferentes días de fraguado. Curado en agua. ....	78
Grafica 10. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz en diferentes días de fraguado. Curado en agua.....	79
Grafica 11. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz en diferentes días de fraguado. Curado en ambiente.....	81
Grafica 12. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz en diferentes días de fraguado. Curado en ambiente..	83
Grafica 13. Resultados ensayo a flexión de adoquines comerciales (Grafico de líneas).....	90
Grafica 14. Resultados ensayo a flexión de adoquines comerciales (Grafico de barras).....	90
Grafica 15. Resultados ensayo a flexión de adoquines en mortero con cascarilla de arroz (Grafico de líneas).....	91

Grafica 16. Resultados ensayo a flexión de adoquines en mortero con cascarilla de arroz (Grafico de barras).....	91
Grafica 17. Resultados ensayo a compresión de adoquines comerciales (Grafico de líneas). ....	92
Grafica 18. Resultados ensayo a compresión de adoquines comerciales (Grafico de barras).....	92
Grafica 19. Resultados ensayo a compresión de adoquines de mortero con cascarilla de arroz (Grafico de líneas).....	93
Grafica 20. Resultados ensayo a compresión de adoquines de mortero con cascarilla de arroz (Grafico de barras). ....	93

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Tipos de Adoquines en Arcilla. Ladrillera Santafé.....	40
Imagen 2. Cascarilla de arroz.....	47
Imagen 3. Proceso industrial del arroz.....	48
Imagen 4. Derivados y subproductos del arroz.....	49
Imagen 5. Ceniza de cascarilla de arroz comercializada.....	49
Imagen 6. Ceniza de cascarilla de arroz obtenida.....	56
Imagen 7. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura.....	59

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cronograma.....	103
Anexo B. Presupuesto.....	104
Anexo C. Análisis de Precios Unitarios (APU).....	105
Anexo D. Registro fotográfico.....	108

## RESUMEN

La investigación actual se ha centrado en desarrollar técnicas y procesos novedosos de construcción, con biomateriales no convencionales como lo es la cascarilla de arroz, que ayude a rebajar costos y cumpla con las normas técnicas colombianas que ya han sido establecidas.

Actualmente los procesos agroindustriales y la producción de cemento generan una serie de contaminación en la atmosfera con las emisiones de CO<sub>2</sub> y residuos que pueden ser aprovechados para aportar a una solución del manejo de las basuras y disminuir dichos gases contaminantes. En el caso de la cascarilla de arroz es un deshecho que se genera en grandes cantidades en toda la región Andina debido a los cientos de cultivos de arroz existentes. Este deshecho contiene propiedades químicas y mecánicas muy particulares como lo es el SiO<sub>2</sub> (Sílice) el cual es un compuesto que pertenece también al cemento, por lo tanto la cascarilla de arroz podría ser usada para sustituir en ciertos porcentajes la composición del cemento y así crear adoquines en mortero con dicha mezcla, con esto se estaría obteniendo un Eco-bloque que estaría contribuyendo al medio ambiente.

Debido a las investigaciones realizadas con anterioridad en otros países y lo descrito anteriormente, el proyecto se centra en la fabricación de un adoquín de mortero con ceniza de cascarilla de arroz, surgiendo desde la necesidad de contribuir ambientalmente y económicamente para el sector de la construcción. Para veracidad de las investigaciones y cumplimiento del proyecto, se realizaron ensayos de laboratorio a flexión y compresión con el fin de analizar el comportamiento físico-mecánico del elemento y cumplimiento de los requisitos dados en la Norma Técnica Colombiana.

**PALABRAS CLAVES:** Adoquín, Cemento, Cascarilla de arroz, Mortero, Resistencia, Dióxido de Carbono.

## ABSTRACT

Current research has focused on developing techniques and novel construction processes, with non-conventional biomaterials such as rice husk, which helps reduce costs and meets Colombian technical standards that have already been established.

Currently, agroindustrial processes and cement production generate a series of pollution in the atmosphere with CO<sub>2</sub> emissions and waste that can be used to contribute to a waste management solution and reduce these polluting gases. In the case of rice husk is a waste that is generated in large quantities throughout the Andean region due to the hundreds of existing rice crops. This waste contains very specific chemical and mechanical properties such as SiO<sub>2</sub> (Silica), which is a compound that also belongs to cement, therefore the rice husk could be used to replace in certain percentages the composition of the cement and thus create pavers in mortar with said mixture, with this an Eco-block would be obtained that would be contributing to the environment.

Due to the investigations carried out previously in other countries and the previously described, the project focuses on the manufacture of a mortar set with rice husk ash, arising from the need to contribute environmentally and economically to the construction sector. For the veracity of the investigations and compliance with the project, laboratory tests were carried out on flexion and compression in order to analyze the physical-mechanical behavior of the element and compliance with the requirements given in the Colombian Technical Standard.

**Keyword:** Cobblev, cement, rice husk, mortar, resistance, carbon dioxide.

## INTRODUCCION

El siguiente proyecto investigativo pretende desarrollar alternativas de construcción, desarrollando elementos de mampostería que en su elaboración integren la cascarilla de arroz como elemento complementario a la arena, el cemento y el agua, buscando que tengan un óptimo desempeño en diferentes aplicaciones en procesos constructivos. Lo anterior es complementado con el conocimiento previo que nos indica que las prácticas tradicionales aplicadas para la elaboración de los adoquines, bloques o ladrillos, en su proceso generan un alto consumo de energía, especialmente en los productos de arcilla horneada y una alta contaminación al medio ambiente con las grandes emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> a la atmosfera, con el consiguiente alto impacto negativo al potencializar el efecto invernadero, el calentamiento global y el cambio climático que sufre el planeta.

Por lo anterior es de evidente importancia que los ingenieros elaboremos alternativas de fabricación diferentes y procesos de construcción distintos a los tradicionales que apunten a la utilización de biomateriales diferentes a los convencionales que reduzcan la carga contaminante al medio ambiente y también la disminución en el uso de los recursos naturales renovables y no renovables. Lo que se busca es que muchos de los elementos utilizados en la construcción actual, como los elementos de mampostería como bloques y ladrillos al igual que algunos pre-fabricados como adoquines, sardineles, bolardos, dinteles y muros divisorios se reemplacen los materiales de cantera tradicionales como arena, grava y gravilla, por elementos extraídos de los residuos corrientes que generan las grandes industrias y los habitantes de grandes ciudades. Los nuevos procesos que nos generen estas alternativas, enriquecerán los nuevos procesos de tecnología limpia que cada vez son más importantes para la conservación del medio ambiente. Como se

observa, nuestro proyecto apunta a mitigar el impacto ambiental que genera la ingeniería civil con los procesos constructivos que originan el agotamiento de canteras y la explotación de los ríos y, de forma simultáneamente se orienta al aprovechamiento de algunos de los residuos reciclables que tanto mal le causan al medio ambiente.

Con base en lo anterior el objetivo es generar un tipo de proceso práctico, económico y sencillo donde se pueda demostrar que la cascarilla de arroz es un material de desecho que al mezclarla con otros materiales se pueda obtener un bloque, ladrillo o adoquín que cumpla con toda la normatividad legal vigente y que a corto plazo pueda generar un tipo de proceso industrializado que reduzca los costos de la construcción.

A largo plazo se espera que se produzcan políticas sustentables y sostenibles, que fomenten el uso de elementos reciclables en la construcción, exigiendo que se cumpla la normatividad técnica colombiana en la fabricación de elementos pre-fabricados y las normas de sísmo-resistencia exigidas en la construcción.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de cemento es responsable del 6% de toda la producción mundial de CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono) y que incrementa sucesivamente, cada tonelada de cemento produce una tonelada de CO<sub>2</sub>, esto es sumamente preocupante ya que este gas es el principal culpable del efecto invernadero el cual con lleva al calentamiento global siendo este la mayor amenaza a la que se enfrenta la humanidad y sus efectos ya son visibles en todo el mundo.

La fabricación del cemento se realiza moliendo a su vez piedra caliza y pizarras (mezclas de diferentes aluminosilicatos, minerales que contienen óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y sílice (SiO<sub>2</sub>)), llevando dicha mezcla molida a calentar a unos 1500°C de temperatura con combustibles fósiles. La reacción química que se produce, libera dióxido de carbono, fundiéndose parcialmente dichos componentes formando terrones sólidos conocidos con el nombre de Clinker o también escorias del cemento. El material resultante es molido hasta llegar a la pulverización y se mezcla con una muy pequeña cantidad del compuesto sulfato de calcio. Dicha mezcla es el famoso cemento de Portland (cemento el tradicional).

Por otro lado en Colombia existen grandes cantidades de cultivos de arroz, el arroz es un producto reconocido en el sector agrícola y uno de los más consumidos en nuestro país. Debido a esto, los deshechos (cascarilla de arroz) que se generan en su proceso de producción son desmedidos, lo cual a su vez desarrolla una contaminación ambiental de grandes proporciones.

De acuerdo a lo planteado, existen dos problemáticas ambientales que desde la ingeniería civil podrían ser disminuidas con la fabricación de un prototipo de adoquín de mortero mezclado con ceniza de cascarilla de arroz la cual sustituiría un cierto porcentaje de cemento. Con esto se contribuiría en la disminución del uso del cemento al aprovechar el deshecho de cascarilla de

arroz, siendo probablemente esto posible ya que la ceniza de cascarilla de arroz posee componentes químicos como sílice similares a las del cemento.

Las posibilidades de obtener resultados favorables en la elaboración de estos adoquines mezclados con cascarilla de arroz pueden ser grandes ya que de acuerdo a las investigaciones realizadas en otros países por ingenieros ambientales, mecánicos y civiles plantean que la cascarilla de arroz es un material orgánico con propiedades altamente resistentes que pueden ser usadas en beneficio para sector de la construcción. Como claro ejemplo de investigación se tiene el artículo “Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción” del autor Andrés Mafla en el cual propone diversas alternativas para dar uso de la cascarilla de arroz en diferentes sectores de la construcción y la investigación científica “Con cascarilla de arroz se hacen concretos de alta resistencia” del Ingeniero Civil Silvio Delvasto el cual plantea una investigación exhaustiva sobre la propiedad de resistencia que posee la cascarilla de arroz, estos autores como otros son soporte confiable para la ejecución del proyecto.

## **1.1 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Cómo se verán afectadas las características físico-mecánicas de los adoquines en mortero al adicionar cierto porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz en la mezcla para la fabricación de estos?

## 2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto investigativo tiene como objetivo crear una propuesta para la creación de adoquines en mortero mezclados con biomateriales como la cascarilla de arroz, esto con el fin de darle algún uso en el sector de la construcción en la ciudad de Girardot del departamento de Cundinamarca. Lo anterior fue propuesto ya que actualmente en Colombia la construcción de viviendas se ha expandido cada vez más, por lo tanto el uso de materiales con cierto grado de contaminantes como el cemento es mayor, este material es gran productor de emisiones de  $\text{Co}_2$  en la atmosfera contribuyendo al calentamiento global.

Por consiguiente el uso de la cascarilla de arroz podría darse como alternativa para la sustitución de ciertos porcentajes de cemento con esto se estaría contribuyendo al medio ambiente ya que el uso de estos materiales contaminantes sería menor. Al tener la mezcla de la cascarilla de arroz con cemento se quiere elaborar un adoquín de mortero que cumpla con la resistencia a flexión y compresión optima y establecida en las Normas Técnicas Colombianas, a la vez el costo de su fabricación debe ser viable.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL:**

Elaborar adoquines de mortero mezclados con cascarilla de arroz que puedan ser utilizados para procesos de construcción en la ciudad de Girardot del Departamento de Cundinamarca.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Comparar los ensayos de flexión y compresión de la resistencia del adoquín tradicional y el fabricado en mortero mezclado con cascarilla de arroz en cumplimiento con la NTC.
- Establecer el porcentaje óptimo de cascarilla de arroz a través de los resultados obtenidos en los ensayos aplicados.
- Determinar los costos generados por la fabricación del adoquín mezclado con cascarilla de arroz y compararlos con el adoquín tradicional para encontrar su viabilidad económica.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO CONTEXTUAL

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el municipio de Girardot del departamento de Cundinamarca ubicado en la provincia del alto magdalena.

El municipio de Girardot limita la norte con los municipios de Nariño y Tocaima, al sur con el municipio de Flandes y el Río Magdalena, al oeste con el municipio de Nariño, el Río Magdalena y el municipio de Coello y al este con el municipio de Ricaurte y el Río Bogotá. Está ubicado a 134 km al suroeste de Bogotá. La temperatura media anual es de 27.8 °C (*“Alcaldía de Girardot”, 2018*).

Girardot es una de las ciudades más importantes de Cundinamarca por su población, centros de educación superior, economía y extensión urbana. También es una de las ciudades con más afluencia de turistas y población flotante del país. Girardot conforma una conurbación junto con los municipios de Flandes y Ricaurte, que suman una población de 144.248 habitantes.

Girardot es una ciudad de clima cálido, lo que le ha permitido desarrollar una gran diversidad de ofertas turísticas. En las horas de la mañana su clima oscila entre los 20 y 28 grados; en la tarde, entre 30 y 34 grados, y en las noches alrededor de 27 grados, gracias a la brisa fresca proveniente del Río Magdalena. La cabecera municipal está a una altura de 290 m s. n. m., pero su territorio, de 150 km<sup>2</sup>, abarca 70% de relieve montañoso que alcanza 1.000 m s. n. m., dado que se encuentra en un vértice de la Cordillera Oriental colombiana. La máxima temperatura registrada en la historia de Girardot fue de 42,3 °C, y la mínima de 9.8 °C.

## **4.2 MARCO INSTITUCIONAL**

La Corporación Universitaria Minuto de Dios se encuentra ubicada en el barrio Rosa blanca de la ciudad de Girardot del departamento de Cundinamarca, en un contexto urbano. Esta universidad es muy conocida tanto en el municipio de Girardot como en sus alrededores ya que a ella pertenecen estudiantes de otros municipios tales como Agua de Dios, Melgar, Espinal, Ibagué, Fusagasugá, entre otros.

La Uniminuto seccional Girardot cuenta con programas técnicos, tecnológicos, universitarios y especializaciones lo cual hace que sea una de las universidades reconocidas a nivel regional y nacional, aparte de esto es viable económicamente ya que ofrece métodos de financiación favorables. La universidad tiene como misión y visión lo siguiente:

### **MISIÓN**

El Sistema Universitario UNIMINUTO, inspirado en el Evangelio, el pensamiento social de la Iglesia, la espiritualidad Eudista y el carisma del Minuto de Dios, tiene como propósito:

- Ofrecer educación superior de alta calidad y pertinente con opción preferencial para quienes no tienen oportunidades de acceder a ella, a través de un modelo innovador, integral y flexible.
- Formar excelentes seres humanos, profesionales competentes, éticamente orientados y comprometidos con la transformación social y el desarrollo sostenible.
- Contribuir, con nuestro compromiso y nuestro testimonio, a la construcción de una sociedad fraterna, justa, reconciliada y en paz.

### **VISION**

En el 2019, UNIMINUTO es reconocida, a nivel nacional e internacional, como una institución de educación superior que, desde su modelo educativo inspirado en el Humanismo

Cristiano, forma personas íntegras que, como profesionales competentes y emprendedores, abiertos a la búsqueda de Dios y al servicio del hombre, contribuyan al desarrollo de sus comunidades y de una sociedad equitativa.

UNIMINUTO se caracteriza por ser una institución incluyente y sostenible, soportada en una cultura de alta calidad, con una oferta educativa amplia y pertinente, gran cobertura, fácil acceso, uso de nuevas tecnologías, promoción de la innovación social y de iniciativas de cooperación para el desarrollo (*Corporación Universitaria Minuto de Dios, "Sistema Uniminuto", 2018*).

### 4.3 MARCO TEORICO

El presente marco teórico se fundamenta en la teoría de Andrés Mafla partir de su texto: *Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción (2009)*; donde hace énfasis sobre la alta contaminación que produce la fabricación del cemento Portland debido a esto busca que con la adición del Oxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) obtenido a partir de la cascarilla de arroz sea una solución a esta problemática. Por lo tanto *Mafla* propone lo siguiente:

“La cascarilla de arroz es un deshecho agroindustrial que se produce en altos volúmenes en los lugares donde se siembra y se procesa la planta del arroz. Este deshecho, como se demostró se puede utilizar para la obtención de dióxido de silicio para el cemento y mejorar sus características mecánicas lo cual ha sido investigado por especialistas en distintas partes del mundo, los cuales han notado el enorme potencial de este material como fuente alternativa en el campo de la construcción, esto permite establecer que para el caso concreto de Colombia también se le considere como un material de gran potencial ya que ofrece una alternativa de alta viabilidad para las construcciones de bajo costo.” (Pág. 77).

Dicho lo anterior el proyecto planteado puede ser una alternativa económica para la construcción de viviendas para sociedades de bajos recursos, dando confiabilidad y satisfacción.

---

*¿Quién es Andrés Mafla B.? Es un Ingeniero Civil, Docente Programa de Ingeniería Civil, Corporación Universitaria Minuto de Dios (UNIMINUTO).*

A parte de la propuesta dada por Mafla, hay otra teoría dada por Jaider Sierra Aguilar quien a partir de su texto: *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia (2009)*; donde indica la importancia económica y social de la cascarilla de arroz, los diversos usos que se le pueden dar y el favorable impacto ambiental que esta puede brindar, por lo tanto *Sierra* describe lo siguiente:

“Las aplicaciones de la cascarilla en construcciones son múltiples. Se piensa, sobre todo, en mobiliario y paredes de auditorios, cines o edificios altos, donde acude mucha gente, ya que representa una alta seguridad por su bajo nivel de combustión. No obstante, ya que resiste humedad, impacto e intemperie, también es ideal para señalamientos en zonas costeras. Tolera más que el aglomerado de madera: si se pone aglomerado en agua, se hincha; este no, y tampoco genera hongos porque está sellado. También sirve como abrasivo natural, ya que su estructura incluye unos diminutos picos que se han utilizado con éxito para pulir y limpiar piezas metálicas. Además, se puede hacer en forma similar al triplay, aunque sin sus problemas de degradación y polilla o bien, como sustituto de corcho, para cabinas de transmisión o acústicas. Por ejemplo en México se importa corcho, que se fabrica con la corteza del abedul y es muy costoso. Todo este tipo de innovación tiene el potencial de crear toda una nueva industria, con la participación de empresas interesadas, por medio de convenios”. (Pág. 38).

Con base en lo anterior se confirma que los procesos constructivos con base de cascarilla de arroz ya se están implementando en otros países con resultados favorables.

---

*¿Quién es Jaider Sierra Aguilar? Es un ingeniero agrícola, especialista en Ciencias Ambientales, docente de la Universidad del Sucre.*

#### 4.4 MARCO CONCEPTUAL

- **CASCARILLA DE ARROZ:** es un subproducto de la industria molinera, que resulta abundantemente en las zonas arroceras de muchos países y que ofrece buenas propiedades para ser usado en diferentes labores.
- **ADOQUIN:** adoquín es una piedra o bloque labrado de forma rectangular que se utiliza en la construcción de pavimentos.
- **CEMENTO:** Es un material formado de piedra caliza y arcilla calcinadas y molidas, este material se endurece al estar en contacto con otros materiales.
- **MORTERO:** Es un compuesto que resulta de la mezcla de cemento, arena y agua, usado en el sector de la construcción para aparejar elementos de mampostería.
- **RESISTENCIA A LA COMPRESION:** Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente (“Instron”,2016).
- **RESISTENCIA A LA FLEXION:** Esfuerzo máximo de la fibra desarrollado en una probeta justo antes de que se agriete o se rompa en un ensayo de flexión. Se presenta la resistencia de fluencia de la flexión en lugar de la resistencia a la flexión para aquellos materiales que no se rompen en el ensayo de flexión. Sinónimo de módulo de rotura (“Instron”,2016).
- **DOSIFICACION:** Es establecer la cantidad apropiada de ciertos materiales para conseguir una mezcla ideal que cumpla con ciertos requisitos técnicos.

## 4.5 ESTADO DEL ARTE

La investigación realizada sobre el tema de los usos de la cascarilla de arroz en el sector de la construcción ha logrado ser extensa debido a que se encuentran varias publicaciones de artículos en revistas, periódicos, documentos estudiantiles y videos relacionados con el tema. Para ello se ha realizado una revisión exhaustiva de las bases de datos buscando determinar aquellos trabajos relevantes y actualizados que permiten establecer la frontera en la cual se encuentra dicho conocimiento, para que a partir de esto se pueda dar solución al planteamiento del problema.

Uno de los artículos más influyentes y con información apropiada es el del autor colombiano Andrés Mafla donde nos indica las propiedades físico-mecánicas de la cascarilla de arroz colombiana para poder ser usada como alternativa en el sector de la construcción y así mismo los diferentes usos que puede dársele en otros sectores.

Así mismo la información encontrada internacionalmente es amplia ejemplo de esto es la investigación realizada por el chileno Franco Zunino donde hace referencia a la evaluación del desempeño de hormigones con ceniza de cascarilla de arroz como material cementicio suplementario, está junto a otros documentos son teorías que con la presente investigación se quiere comprobar si el proyecto es viable.

#### **4.6 MARCO LEGAL**

Las Normas Técnicas Colombianas que principalmente abarcan todo lo relacionado con el presente proyecto de investigación son la NTC 4017 (METODO PARA MUESTREOS Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERIA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA) y la NTC 4026 (UNIDADES BLOQUES Y LADRILLOS DE CONCRETO PARA MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL), esta normatividad incluye el proceso y explicación para someter los bloques a ensayo a flexión y compresión, al igual que las respectivas ecuaciones que deben ser aplicadas para obtener los resultados correspondientes.

Por otro lado la aplicación de leyes ambientales surgen ya que el producto usado es un residuo industrial (cascarilla de arroz) por lo tanto la normatividad que rige la disposición y el manejo de los residuos sólidos es la Ley 23 de 1973 y Ley 2811 de 1974, al igual que la NTC 6033 que se conforma de los CRITERIOS AMBIENTALES PARA LADRILLOS Y BLOQUES *(Ordoñez, M. K. y Villanueva, L.L., 2012, P.34).*

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 FASES DEL PROYECTO

El enfoque metodológico se ha establecido como el praxeológico, que se fundamenta en la práctica, como validación de la teoría, como método de enseñanza-aprendizaje y como fuente de conocimientos, siguiendo de esta forma las directrices de investigación de la Universidad. En este sentido se pueden definir de forma clara cinco fases usadas en el proyecto como lo son el **DIAGNOSTICO, PLANEACION, EJECUCION EVALUACION Y SEGUIMIENTO**, con sus respectivos equivalentes en los procesos praxeológico.

1. **FASE DE DIAGNOSTICO-** Fase praxeológica del **VER**: En esta fase fundamentalmente se ha realizado el proceso de exploración y análisis, esto con el fin de responder que sucede en nuestro entorno y dar una solución a la problemática planteada sobre el aumento progresivo de CO<sub>2</sub> producido por la elaboración de cemento y el agotamiento de canteras, minas y degradación de los ríos. Buscaremos un material que se pueda reciclar, usándolo como elemento constitutivo de ladrillos y adoquines.

2. **FASE DE PLANEACION** – Fase praxeológica del **JUZGAR**: En esta fase el enfoque es encontrar un método práctico para dar solución a la problemática, tomando como base toda la información primaria recolectada, y aplicar teorías que ya han sido propuestas, por lo tanto, la teoría encontrada como alternativa es suplir en porcentajes el contenido de cemento al momento de fabricar adoquines, además de esto el cronograma y los costos se plantearon en este punto.

3. FASE DEL EJECUCION- I Fase praxeológica del **ACTUAR**: Esta fase se fundamenta en la práctica y aplicación experimental para la elaboración de los adoquines y corroborar que las teorías establecidas en la fase anterior son verídicas, tomando como base los resultados de los laboratorios programados. Se fabricarán prototipos de adoquines: con la cascarilla cruda, es decir sin someterla a ningún proceso y con la cascarilla quemada o convertida en ceniza.

4. FASE DE EVALUACION- II Fase praxeológica del **ACTUAR**: Esta es la fase que recopila lo realizado en las tres fases anteriores ya que en esta se debe reflexionar acerca de lo que se aprendió durante el proceso de toda la ejecución del proyecto, para luego ver la viabilidad técnica y económica en un futuro.

5. FASE DE SEGUIMIENTO- Fase praxeológica de la **DEVOLUCION CREATIVA**: En esta última fase el propósito es analizar y hacer una programación acerca del seguimiento que se le pueda hacer al proyecto y ubicar otras variantes que se puedan aplicar para reemplazar la arena o la grava por otros materiales igualmente reciclables. Aquí se aplicarán en una construcción real los adoquines y ladrillos obtenidos del proceso para verificar el comportamiento y cumplimiento de normas.

Se realizarán encuestas de sondeo sobre la aceptación de estos elementos pre-fabricados, como sustitutos de los ladrillos y adoquines tradicionales, dentro de la comunidad de constructores, tanto empíricos como profesionales y su real aplicabilidad a los procesos constructivos de la región.

## **5.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

El presente proyecto de investigación es de tipo experimental ya que se determinó la relación causa-efecto que existe entre la variable independiente (porcentaje de “Cascarilla de Arroz”) y la variable dependiente (Modulo de Rotura y Resistencia a la compresión); tratando de establecer con la mayor precisión posible si con el manejo de la “cascarilla de arroz” se podía llevar a cabo la fabricación de adoquines de mortero tipo vial o estructural mediante el proceso de curado en agua o al ambiente y a su vez se pudiera establecer los usos posibles de esta “cascarilla” que en el proceso de uso o aplicación contribuyera a reducir el impacto ambiental. De tal forma el señor, Roberto Hernández plantea: “un diseño experimental es un estudio en donde se manipulan una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes” (Cerde, G.H., 2016, p.46).

## **5.3 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION**

El enfoque del presente proyecto de investigación es cuantitativo; debido a que se constituye de diferentes pruebas de laboratorio el comportamiento de la cascarilla de arroz, además también se llevó a cabo la prueba de resistencia a la compresión y a flexión del producto obtenido como lo fueron los bloques de mortero tipo estructural o vial y a partir de dichas pruebas se obtuvieron datos los cuales fueron ordenados en tablas de manera respectiva para luego ser analizados. Según Cerda Gutiérrez Hugo lo cuantitativo se reduce a medir variables en función de una magnitud, extensión o cantidad determinada donde la magnitud se refiere a toda propiedad que pueda ser medida y la extensión es una parte del espacio que ocupa una cosa.

#### **5.4 TIPO DE INVESTIGACION**

El tipo de investigaciones de carácter experimental-aplicada debido a que se sustentó en teorías, observaciones, experimento e informaciones que hacen posible analizar las variables y parámetros que permitieron la evaluación de la “casarilla de arroz” de fácil aplicación para la elaboración de bloques de mortero. Por lo cual el señor Hernández Roberto plantea lo siguiente: “la investigación experimental consiste en someter un objeto conocidas por el investigador y así observar los resultados que las variables producen en el objeto. Según Hurtado de Barrera Jacqueline la investigación aplicada es aquella que se caracteriza por buscar la aplicación o utilización de los conocimientos”. (*Hernández, R., 2016, P.126*)

## 5.5 VARIABLES

### Variables independientes

- ✚ Porcentaje de Cascarilla de Arroz

### Variables intervinientes

- ✚ Tiempo
- ✚ Temperatura

### Variables dependientes

- ✚ Módulo de Rotura
- ✚ Resistencia a la compresión

TIPOS	VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>INDEPENDIENTE</b>	Porcentaje de Cascarilla de Arroz	Proporción de la “cascarilla de arroz”	M	%
<b>DEPENDIENTE</b>	Resistencia a la compresión	Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.	F/A	Psi
	Módulo de Rotura	Esfuerzo máximo de la fibra desarrollado en una probeta justo antes de que se agriete o se rompa en un ensayo de flexión.		
<b>INTERVINIENTE</b>	Tiempo	Magnitud física que permite medir la duración de las cosas sujetas a cambios.	t	Hr
	Temperatura	Contenido de la energía interna de las moléculas	T	C

## **5.6 RECOLECCION DE LA INFORMACION SECUNDARIA**

### **5.6.1 ADOQUINES**

#### **5.6.1.1 ¿QUE ES UN ADOQUIN?**

Un adoquín es una piedra o bloque labrado de forma rectangular que se utiliza en la construcción de pavimentos. Los materiales más utilizados para su construcción han sido el granito, por su gran resistencia y facilidad para el tratamiento y, sobre todo, el basalto que a su dureza se le añade la mayor facilidad de corte. Sus dimensiones suelen ser de 20 cm. de largo por 15 cm. de ancho, lo cual facilita la manipulación con una sola mano (*Diccionario enciclopédico Salvat, 1967, 12ª edición, tomo II, p. 545.*)

#### **5.6.1.2 HISTORIA DEL ADOQUIN**

Su origen se remonta a hace 25 siglos. Los cartagineses y romanos los utilizaban en sus grandes vías para dotarlas de rapidez y duración. Para lograr un transporte más cómodo se vio la necesidad de conseguir una superficie de rodamiento más continua y esto no se podía lograr con el empedrado anterior, que consistía en piedras sin tallar en estado natural.

El adoquinado se utilizó de modo funcional hasta finales del siglo XIX. En tiempos de Napoleón se construyeron grandes avenidas en las ciudades, entre otras cosas para posibilitar que las grandes piezas de artillería circularan por las calles. Más adelante los franceses construyeron las carreteras de pavés. La aparición del automóvil hizo crecer el ritmo de la pavimentación y el adoquinado dejó de ser rentable (*Luca, C., 2012.*)

### 5.6.1.3 TIPOS DE ADOQUIN

Los adoquines que comúnmente se encuentran en el mercado son los de concreto y arcilla, de los cuales se subdividen otros tipos:

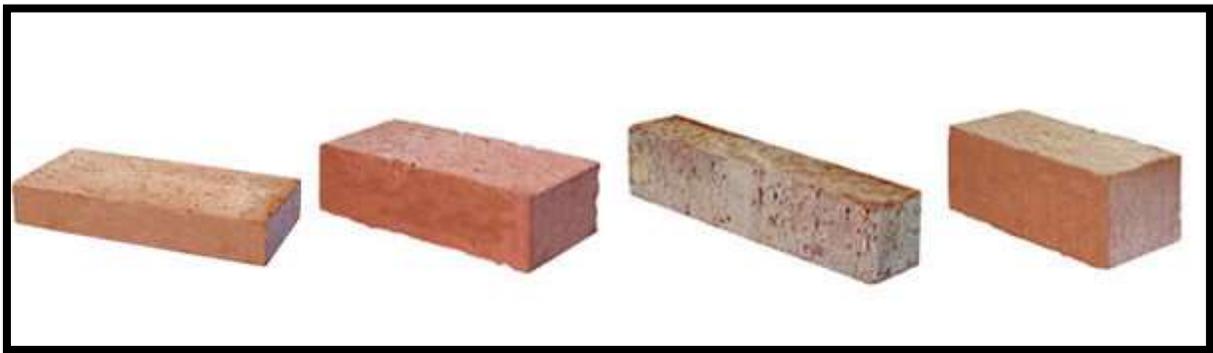
ADOQUIN EN CONCRETO: se utilizan de manera similar a los antiguos adoquines de piedra y dan origen a lo que se denomina pavimento articulado. Entre ellos se encuentran:

- Corbatín: Posibilita diferentes formas de colocación para tráfico vehicular pesado en muelles, estacionamiento, vías internas y externas.
- Antideslizante: Para recuperación de centros históricos. Colocado en forma de "espinas de pescado" se consiguen pavimentos omnidireccionales.
- Adoquín Rectangular: Ideal para caminos, plazoletas y vías en donde la forma rectangular admite su mejor uso. Su sencillez en el diseño permite economías en la mano de obra, para su colocación y a la vez flexibilidad.
- Adoquín Guitarra: Original por ser la más novedosa forma de adoquín en el mundo. Rompe con la monotonía de los pavimentos porque combina 2 figuras, el cuadrado y el octágono, dando lugar a un pavimento con varias formas.
- Adoquín Ecológico Gramoquin: Pavimento ideal para estacionamientos vehiculares donde se necesite tener verde y mantener el entorno. Sirve para estabilización de taludes y revestimiento de canales.
- Adoquín Azteca: Fue una de las primeras formas de adoquines que se utilizaron en Colombia y Centro América. El tamaño es más grande que las otras formas mano portables, por esta razón se encuentra discontinuado; solo se fabrica bajo pedido (*EcuRed, 2009.*).

## ADOQUIN EN ARCILLA:

Los adoquines fabricados con arcilla, esquisto (roca de textura pizarrosa) o sustancias terrosas naturales u otros similares son elaborados mediante un tratamiento térmico con elevadas temperaturas de cocción para cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad.

El adoquín de arcilla es el ladrillo utilizado como material de acabado para la construcción de pisos articulados en zonas peatonales, plazoletas al aire libre o bajo cubierta, ciclo rutas, garajes, parqueaderos, estaciones de servicio, bahías de estacionamiento, zonas industriales, vías y ejes de tráfico vehicular (*Ladrillera Santafé, 2018*).



*Imagen 1. Tipos de Adoquines en Arcilla. Ladrillera Santafé; Adoquines. Tomado de: <http://santafe.com.co/index.php/soluciones-constructivas/adoquines>*

### 5.6.1.4 VENTAJAS EN LA UTILIZACIÓN DE ADOQUINES

- ✚ Generación de empleo de mano de obra tanto en la producción como en el manejo y en la instalación artesanal.
- ✚ Material de identificación y caracterización.
- ✚ Bajos costos con respecto a otros elementos.
- ✚ Material de gran calidad.

- # Valor estético.
- # Facilidad de manejo y almacenamiento.
- # Uso inmediato.
- # Fácil modulación.
- # Facilidad de instalación, no requiere equipo especializado.
- # Diferentes texturas.
- # Diversidad de colores y tonalidades.
- # Formas.
- # Facilidad y adaptabilidad en los despieces.
- # Posibilidad infinita de combinación con otros materiales de acabado.
- # Fácil mantenimiento.
- # Fácil limpieza.
- # Fácil reparación.

#### **5.6.1.5 USOS Y APLICACIONES**

EN PISOS O PAVIMENTO: El Adoquín es utilizado ampliamente en construcciones donde se requieran pisos decorativos y resistentes al tráfico, que impriman distinción a la obra. Algunas de sus aplicaciones son:

- ✓ Zonas comunes de Edificios y Unidades Residenciales
- ✓ Áreas peatonales.
- ✓ Parques y senderos
- ✓ Parqueaderos

Se puede usar, para todo tipo de tráfico, desde el peatonal (pisos) hasta el vehicular (pavimento) desde bicicletas, hasta vehículos de carga, con solo variar el espesor de la estructura de soporte (bases). Su aplicación en pavimentos, se da en vías y parqueaderos de todo tipo, áreas residenciales, patios de carga, estaciones de servicio y plataforma de aeropuertos, entre otras. Cuando se producen con color, los Adoquines de concreto adquieren un valor arquitectónico especial para áreas peatonales en el espacio público, parques, accesos y parqueo de automóviles, plazas, etc.

EN MUROS ARQUITECTONICOS: Los bloques arquitectónicos decorativos son piezas únicas en el mercado por su tamaño, sus acabados y cualidades de fábrica. Son amigables con el ambiente, el material de cada bloque se puede reutilizar al triturarlo para formar parte de una nueva producción. Sus medidas geométricas son exactas, permitiendo ensambles perfectos en espacios definidos (*PreConcreto, 2018, P.1-2*).

### **Características:**

- Amigables con el medio ambiente. Los bloques de concreto se trituran y se sustituyen como parte de los agregados de una nueva producción.
- Perfección en medidas geométricas.
- Garantía de durabilidad.
- Baja absorción.
- Amplia gama de colores con base en Óxidos de Hierro, no perjudiciales para el medio ambiente.

**ESPECIFICACIONES DEL ADOQUIN:** El Adoquín es desarrollado en dos alturas 6 cm y 8 cm, en los siguientes colores: amarillo, marrón, naranja, negro, rojo y verde, adicionales al gris característico del concreto. (*PreConcreto, 2018, P.1-2*).

#### **5.6.1.6 MATERIALES Y PROTOCOLO PARA ELABORACION DEL ADOQUIN**

##### **MATERIALES:**

- Arenas/subsuelos/ arcilla/ material de minería triturado/ cemento, de construcción y otros materiales de desecho (materiales no saturados).
- Ninguna partícula mayor a 5mm. (angular no redonda)
- Preferiblemente un mínimo de 35%+ de finos que pasan a través de un tamiz de 200.
- Prácticamente cualquier agua puede usarse incluyendo el agua de mar y agua ligeramente contaminada.

##### **PROTOCOLO:**

- ✚ Si es posible, calcular por el peso la humedad residual y la humedad óptima del material a ser compactado. Esto indicará la cantidad de AGB/agua requerida para llevar la mezcla al OMC (Contenido Optimo de Humedad).
- ✚ Así que, este ratio puede ajustarse hacia arriba o abajo dependiendo de la estructura del bloque, esto es, los bloques huecos pueden ser de 1 parte de AGB mezclado con 5 partes de agua.
- ✚ Agregar esto al material y mezclar totalmente hasta que forme una bola que cuando se exprima a mano sin que se escurra entre los dedos.
- ✚ Los ladrillos/bloques/adoquines se curan a través de la evaporación de la humedad dentro de ellos.

- ✚ No amontonar los ladrillos/bloques/adoquines directamente en la parte superior entre sí porque ellos podrían unirse.
- ✚ Si es posible, almacenar los ladrillos bajo cubierta por 28 días antes de usar.
- ✚ La resistencia total se logra en 28 días (*PreConcreto, 2018, P.1-2*).

## **5.6.2 CASCARILLA DE ARROZ**

### **5.6.2.1 ¿QUE ES LA CASCARILLA DE ARROZ?**

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, que resulta abundantemente en las zonas arroceras de muchos países y que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico en plantas, mezclas con materiales para construcción, entre otros, bien sea cruda o parcialmente carbonizada (*Calderón, F., 2002*)

### **5.6.2.2 COMPOSICIONES DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

#### **COMPOSICION FISICO-QUIMICA**

En la siguiente tabla, se hace mención a algunas características que han sido obtenidas mediante investigaciones previas de fuentes fiables, obteniendo parámetros comunes para la evaluación de la cascarilla de arroz. El alto contenido de sílice demostrado hace que su uso alimenticio en harinas para animales sea limitado. Uno de los elementos que apropia la combustión de cascarilla de arroz es la celulosa ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> siendo el componente principal de las fibras de este subproducto agrícola. Los rangos obtenidos para el análisis químico a nivel mundial corresponden a los siguientes: La celulosa 25.89 – 35.5 %; Hemicelulosa 18.1 – 21.35 % y la Lignina 18.20 – 24.6 %. La composición química de la cascarilla colombiana presenta un porcentaje de celulosa un poco mayor lo que es muy bueno por su aporte en la combustión. La

lignina cuando es sometida a altas temperaturas desarrolla una propiedad aglomerante en la cascarilla de arroz, transformándola en una pasta sólida "Grumo de cascarilla al rojo vivo" difícil de romper (Valverde, A., 2007, P. 257).

**Tabla 1. Análisis Químico de la composición de la cascarilla de arroz en Colombia**

<b>ELEMENTO</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Fibra (Celulosa)	39,05
Lignina	22,8
Proteínas	3,56
Extracto no Nitrogenado	6,6
Extracto en éter	0,93

*Valverde Agustin, Diciembre de 2007, Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz, Pág. 257. Tomado de: <https://es.slideshare.net/segundocorreamorán/cascarilla-de-arroz>*

## **COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ**

Entre los porcentajes más relevantes de la composición química de la cascarilla de arroz se encuentran las cenizas, siendo la sílice la principal composición que no sufre disociación al quemarse, esto hace que se presente una difícil combustión continua y completa. Aunque la cascarilla es muy utilizada hoy en día como fuente calorífica, requiere de mecanismos de aceleración para que se lleve a cabo una óptima combustión, entre ellos se cuenta los medios

mecánicos que permiten obtener un bajo porcentaje de inquemados. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional o de uso de combustibles no renovables (Valverde, A., 2007, P. 257).

**Tabla 2. Composición mineral de ceniza en la cascarilla de arroz en Colombia**

ELEMENTO	COMPOSICION %
(K <sub>2</sub> O) Oxido de Potasio	39,05
(Na <sub>2</sub> O) Oxido de Sodio	22,8
(CaO) Oxido de Calcio	3,56
(MgO) Oxido de Magnesio	6,6
(SiO <sub>2</sub> ) Sílice	0,93
Total	100

*Valverde Agustín, Diciembre de 2007, Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz, Pág. 258. Tomado de: <https://es.slideshare.net/segundocorreamorán/cascarilla-de-arroz>*

### 5.6.2.3 USOS DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Según estudios aplicados los usos se pueden clasificar en:

- ❖ Uso como combustible y generador de gas
- ❖ Uso constructivo
- ❖ Uso como sustrato en hidroponía
- ❖ Uso de camas para cría de aves
- ❖ Uso en compost y abonos



**Imagen 2.** Cascarilla de arroz; Calderón Felipe; LA CASCARILLA DE ARROZ "CAOLINIZADA", Noviembre 10 de 2012, Bogotá-Colombia; Tomado de:  
[http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla\\_Caolinizada/La\\_Cascarilla\\_Caolinizada.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htm)

#### **5.6.2.4 USO CONSTRUCTIVO:**

Teniendo en cuenta las diversas investigaciones que se han realizado acerca de la mezcla de la ceniza de cascarilla de arroz con cemento para fabricación de concretos resistentes, los resultados han sido satisfactorios gracias a las diversas propiedades físico-químicas que la ceniza de esta cascarilla tiene como lo es el dióxido de silicio  $\text{SiO}_2$  utilizándolo como aditivo para el cemento portland tradicional.

Considerado como un material de gran potencial ya que ofrece una alternativa de alta viabilidad para las construcciones de bajo costo (Sierra, A. J., 2009, P.35.)

### 5.6.2.5 PROCESO INDUSTRIAL DEL ARROZ



*Imagen 3. Proceso industrial del arroz. Tomado de: <http://www.florhuila.com/proceso-del-arroz/>*



**Imagen 4.** Derivados y subproductos del arroz. Tomado de: <http://www.florhuila.com/proceso-del-arroz/>



**Imagen 5.** Ceniza de cascarilla de arroz comercializada. Tomado de: [https://es.123rf.com/photo\\_34702632\\_surface-of-ashes-from-burnt-rice-husk..html](https://es.123rf.com/photo_34702632_surface-of-ashes-from-burnt-rice-husk..html)

### 5.6.3 DIOXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono (fórmula química  $\text{CO}_2$ ) es un gas incoloro y vital para la vida en la Tierra. Este compuesto químico se encuentra en la naturaleza y está compuesto de un átomo de carbono unido con sendos enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. El  $\text{CO}_2$  existe en la atmósfera de la Tierra como gas traza a una concentración de alrededor de 0,04 % (400 ppm) en volumen. Fuentes naturales incluyen volcanes, aguas termales, géiseres y es liberado por rocas carbonatadas al diluirse en agua y ácidos. Dado que el  $\text{CO}_2$  es soluble en agua, ocurre naturalmente en aguas subterráneas, ríos, lagos, campos de hielo, glaciares marinos. Está presente en yacimientos de petróleo y gas natural. El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero, que absorbe y emite radiación infrarroja en sus dos frecuencias de vibración activas en infrarrojos. Este proceso hace que el dióxido de carbono caliente la superficie y la atmósfera inferior y enfríe la atmósfera superior. Una gran mayoría de

Climatólogos coinciden en que el aumento en la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$ , y por lo tanto en el efecto invernadero inducido por  $\text{CO}_2$ , es la principal razón del aumento de la temperatura media global desde mediados del siglo XX. Aunque el principal gas de efecto invernadero responsable por el calentamiento es el dióxido de carbono, también contribuyen el metano, el óxido nitroso, el ozono, y otros gases de efecto invernadero de larga vida. El  $\text{CO}_2$  es el más preocupante, ya que ejerce una mayor influencia de calentamiento total que todos los otros gases combinados, y porque tiene una larga vida atmosférica (*Numero CAS, 2012*).

#### **5.6.4 EFECTO INVERNADERO**

Se llama efecto invernadero al fenómeno por el que determinados gases componentes de una atmosfera planetaria retienen parte de la energía que el suelo emite al haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. De acuerdo con el actual consenso científico, el efecto invernadero se está acentuando en la tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad económica humana. Este fenómeno evita que la energía del sol recibida constantemente por la tierra vuelva inmediatamente al espacio produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero. *(Roa, D., 2002.)*

#### **CONSECUENCIAS**

- ❖ Grandes cambios en el clima a nivel mundial
- ❖ El deshielo de los casquetes polares lo que provocaría el aumento del nivel del mar.
- ❖ Las temperaturas regionales y los regímenes de lluvia también sufren alteraciones, lo que afecta negativamente a la agricultura.
- ❖ Aumento de la desertificación
- ❖ Cambios en las estaciones, lo que afectará a la migración de las aves, a la reproducción de los seres vivos etc.

## **5.7 RECOLECCION DE LA INFORMACION PRIMARIA**

### **5.7.1 INVESTIGACION A NIVEL INTERNACIONAL**

#### **5.7.1.1 EVALUACION DEL DESEMPEÑO DE HORMIGONES CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO MATERIAL CEMENTICIO SUPLEMENTARIO**

El objetivo general de la investigación es analizar los efectos de la utilización de ceniza de cascarilla de arroz (CCA) como material cementicio suplementario en mezclas de hormigón, y a partir de los resultados, evaluar la proyección y aplicabilidad de dicho material en hormigones de alto desempeño usados en construcción. La relevancia de abordar el uso de nuevas adiciones minerales puede entenderse desde una perspectiva ingenieril al mejorar el desempeño del hormigón en algunos aspectos, como también desde la perspectiva ambiental, al permitir una reducción del porcentaje de clínker en el cemento y de las elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su proceso de manufactura. El proceso de fabricación del cemento se constituye hoy como una de las principales fuentes industriales de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Datos de EPA (Environmental Protection Agency), dependiente del gobierno de Estados Unidos), indican que la razón de producción de CO<sub>2</sub> es de 0,507 toneladas por cada tonelada de clínker producido. La cascarilla de arroz es un subproducto de la producción de este cereal. Del total en peso, un 20% corresponde a cascarilla, la cual se compone en un 75% de material orgánico y un 20% de sílice (SiO<sub>2</sub>) aproximadamente.

La ceniza de cascarilla de arroz se obtiene de la combustión de la cascarilla, con un rendimiento de producción cercano al 25%. Si bien la combustión de la cascarilla para obtener ceniza también produce CO<sub>2</sub>, si se logra insertar el uso de la cascarilla de arroz a nivel más amplio, es posible optimizar la huella de carbono neta del sistema. Estudios realizados en

Tailandia, donde ya se utiliza la cascarilla de arroz en centrales de poder pequeñas, han comprobado que la huella de carbono neta es significativamente menor dado que, al ser un producto orgánico, el CO<sub>2</sub>, liberado es recuperado a través del ciclo de carbono de la biomasa, ventaja comparativa frente a un combustible fósil (*Zunino, F., 2012, Pág.62-66*)

### **5.7.1.2 CÁSCARA DE ARROZ PARA LEVANTAR CASAS**

Un grupo de estudiantes de secundaria en Uruguay logró crear un material de construcción ecológico a partir de la cáscara de arroz, un desecho no degradable de la producción arrocería, cuya quema afecta la salud de la población y el medio ambiente.

En Río Branco (la ciudad donde viven estos jóvenes, ubicada a unos 400 kilómetros de Montevideo, en la frontera con Brasil) tenemos dos dificultades: la contaminación por la quema de la cáscara de arroz, que causa problemas respiratorios a mucha gente, y la falta de recursos para construir viviendas", le explicó a BBC Mundo Nicolai Wasen, uno de los siete alumnos que, con su invento, obtuvieron el primer premio en la Feria Nacional de Ciencias. "Nos pusimos a pensar qué se podía hacer con esos desechos y surgió la idea de fabricar hormigón", añadió (*Psetizki, V., 2010*).

### **5.7.1.3 MINIHORMIGONES CON CASCARILLA DE ARROZ NATURAL Y TRATADA COMO AGREGADO GRANULAR**

En este trabajo se consideran específicamente los materiales conglomerados (morteros y mini hormigones) de cemento Portland con cascarilla de arroz en estado natural o con tratamiento previo como agregado granular compuesto con partículas silíceas. Se han diseñado distintas dosificaciones y determinado las propiedades geológicas en estado fresco y mecánicas en estado endurecido, de las mezclas resultantes. El empleo de cascarilla de arroz (material de

desecho común en la zona) como componente granular, y una tecnología que no requiere mano de obra especializada o equipos sofisticados de compactación y colocación, permitirá acercar esta propuesta a los usuarios de menores recursos, y la utilización de estos materiales en la construcción de viviendas de bajo costo (*Bizzotto, M., Natalini, B. y Gómez, G., 1998, P.1-2*).

## **5.7.2 INVESTIGACION A NIVEL NACIONAL**

### **5.7.2.1 ARROZ EN CONCRETO**

La cascarilla del arroz que se desprende del secado de este popular alimento, podría convertirse en un insumo alternativo para la industria de la construcción. Una docena de investigadores de la Universidad del Valle (Univalle) logró que la vaina del cereal se convierta, mediante procesos químicos y térmicos, en un concreto más resistente y menos poroso que los tradicionales. Estos ingenieros de materiales, que están haciendo pruebas desde hace más de una década, son pioneros en el país en obtener pedazos de concreto a partir de la ceniza de la cascarilla. (*Bohórquez, C., 2005*).

### **5.7.2.2 USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO MATERIAL ALTERNATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN**

El cemento Portland es un material que se utiliza ampliamente en la construcción de viviendas, puentes, vías, entre otras aplicaciones. En la actualidad existe un notable interés en la búsqueda de materiales cementantes que permitan mejorar la resistencia mecánica, la respuesta al ataque de los ácidos, y que favorezcan ciertas propiedades funcionales del concreto como la conductividad eléctrica, el apantallamiento contra la radiación electromagnética, y la radiación ionizada, entre otras. De otra parte, con el fin de reducir costos en la producción del cemento,

reutilizar desechos industriales y la búsqueda de cementos con características especiales, se viene proponiendo la adición de algunos de estos mismos desechos para aprovechar la naturaleza puzolánica que algunos presentan. En este documento se estudia la adición del SiO<sub>2</sub>, obtenido de la cascarilla de arroz, al Cemento Portland común y el efecto que esta materia prima tiene sobre el comportamiento mecánico del concreto fabricado con ella. Se indican las características más importantes del SiO<sub>2</sub> que se obtuvo en el laboratorio de la Universidad del Cauca y las curvas de resistencia a la compresión de muestras de mortero. (Mafla, A., 2009, P.74-78)

### **5.7.2.3 CON CASCARILLA DE ARROZ SE HACEN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA**

La sobrepoblación de los centros urbanos genera la necesidad de optimizar el cada vez más reducido espacio disponible. Una de las soluciones consiste en expandir las ciudades ya no de manera horizontal sino vertical construyendo edificios de gran altura. Estas edificaciones deben contar con estructuras apropiadas para soportar el peso de la obra. Las columnas y vigas que actúan como soporte de los edificios requieren de una gran cantidad de materiales como cemento y arena, además, su tamaño reduce las posibilidades de espacio.

Ante esta situación, ingenieros de la Universidad del Valle realizaron una investigación para diseñar mezclas de concreto de alta resistencia con aplicación práctica en la región con materiales económicos y de fácil consecución en el mercado local. (Delvasto, D., 2010).

## 5.8 PROCESOS Y PROCEDIMIENTO

### 5.8.1 PROCESO DE CONVERSION DE CASCARILLA CRUDA A CENIZA

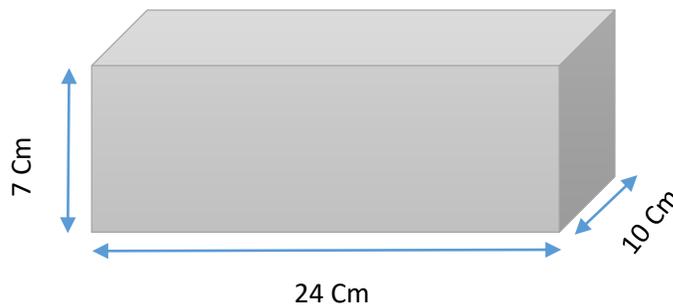
1. La cascarilla de arroz es sacada de su respectiva bolsa de fibra (50kg) y regada sobre un latón o lata para que cumpla 2 días expuesta al sol y seque su contenido de humedad para un proceso de quema mucho más fácil.
2. Transcurridos los dos días correspondientes al secado, se deja en el mismo latón donde se encuentra regada, debajo de este latón se arma una fogata con madera con el propósito de producir calor.
3. Después de tener encendida la fogata se procede a ir revolviendo la ceniza a medida que va transcurriendo el tiempo entre cada 15 a 20min hasta obtener por completo toda la cascarilla quemada, por cada 50kg de cascarilla de arroz cruda se completó su proceso de quemado en 4 horas.
4. Por último se verifica que la cascarilla haya quedado totalmente en ceniza, si esto es correcto ya la ceniza estaría lista para ser mezclada con el mortero y poder elaborar los adoquines.



*Imagen 6. Ceniza de cascarilla de arroz. Fuente: Propia.*

## 5.8.2 PROCEDIMIENTO DE LA ELABORACION DE LOS ADOQUINES

1. Para la mezcla de mortero se escogió una dosificación 1:3 la cual nos indica que para  $1\text{m}^3$  de mortero se necesita 454Kg de cemento,  $1,09\text{m}^3$  de arena y 240L de agua, esto también bajo los parámetros indicados en la NTC 3329 Especificaciones del Mortero para Unidades de Mampostería.. Con la dosificación escogida se procedió a realizar el cálculo correspondiente para determinar la cantidad de cemento, arena y agua según el molde a utilizar y la cantidad de adoquines a elaborar. Por lo tanto se obtuvo lo siguiente. Dimensiones del adoquín: Longitud 24Cm, Ancho 10Cm y Alto 7Cm.



Para un adoquín con un Volumen de:  $0,00168\text{m}^3$  este resultado multiplicado por 4 ya que de un molde salen 4 adoquines, obteniendo un total de  $0,00672\text{m}^3$ .

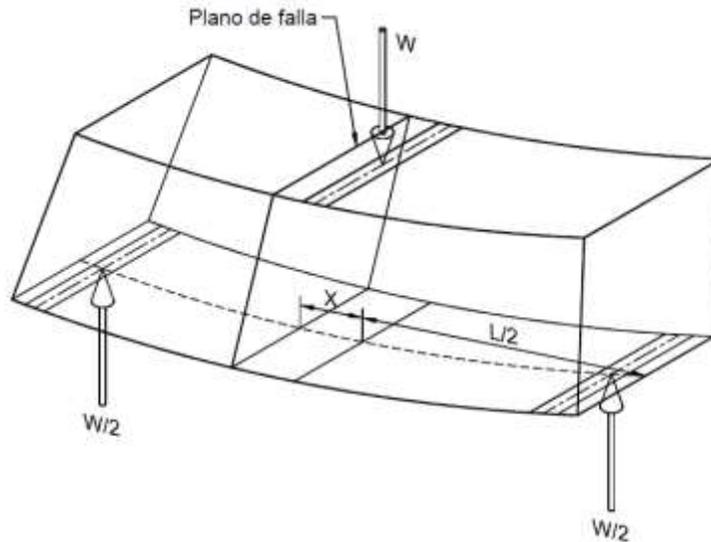
- Arena: 11Kg
- Cemento: 3,5Kg menos 700gr sustituidos por cascarilla de arroz para un total de 2,8Kg de cemento.
- Agua: 2L
- Cascarilla: 20% = 700gr de cascarilla de arroz para sustituir en el cemento

*NOTA: La cantidad de cemento variaba dependiendo del porcentaje de cascarilla de arroz aplicada, después de fundir adoquines con un 20%, se fundieron otros con un 15 y 30%. Esto con el fin de comparar resultados.*

2. Luego de tener la cantidad precisa de todos los materiales el siguiente paso es comenzar con la mezcla de todos los materiales, dicha mezcla realizada sobre una placa de concreto.
3. Después de tener una mezcla homogénea y de buena consistencia lo siguiente fue aplicar un poco de ACPM a los moldes para evitar que la mezcla de mortero no se adhiriera a las paredes del molde, luego proceder a fundir los adoquines.
4. El proceso de fundición de los adoquines se realizó de la siguiente forma: Se llenó el molde en dos capas y en cada una de las capas se realizó una secuencia de 17 chuzones sobre su área con una varilla de 5/8'' esto con el fin de obtener compactación en la mezcla y golpear el molde suavemente por fuera para cerrar huecos y evitar porosidad.
5. Después de tener los adoquines fundidos en el molde se ubicaron en un sitio cubierto donde no estuvieran expuestos a condiciones severas de sol, lluvia o viento y así no afectar sus propiedades físico-mecánicas. Dejándolos en ese sitio durante 24 horas.
6. Transcurridas las 24 horas se procedió a desencofrar los adoquines y sumergirlos en un tanque con agua para que cumplieran su debido proceso de curado durante 7, 14, 21 y 28 días.
7. Por ultimo cada 7 días de curado se sometió un adoquín a ensayo a compresión y flexión esto con el fin de obtener resultados sobre sus características mecánicas y determinar si dicha mezcla era adecuada para la elaboración de adoquines en mortero con cascarilla de arroz.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 ECUACIONES APLICADAS



*Imagen 7. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura. Tomado de: Norma Técnica Colombiana NTC 4017*

$$MR = 3W \left( \frac{L}{2} - x \right) / bd^2$$

#### **Ecuación 1. Calculo Modulo de rotura.**

En donde

$MR$  = módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en Pa.

$W$  = carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N.

$L$  = distancia entre los soportes (medida centro a centro), en mm.

$b$  = ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm.

$d$  = profundidad, (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el

plano de falla, en mm.

$x$  = distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm.

$$\text{Resistencia a la compresión, } C = \frac{W}{A}$$

### **Ecuación 2. Calculo Resistencia a la compresión**

En donde

$C$  = resistencia del espécimen a la compresión, en Pa x 10<sup>4</sup> (ó kgf/cm<sup>2</sup> )

$W$  = carga máxima (de rotura), en N (ó kgf), ó la indicada por la máquina de ensayo.

$A$  = promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en cm<sup>2</sup>

$$\% \text{ absorción} = \frac{100 \times (W_{ss} - W_s)}{W_s}$$

### **Ecuación 3. Calculo Porcentaje de Absorción**

En donde

$W_s$  = masa seca del espécimen antes de inmersión, en g.

$W_{ss}$  = masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría, en g.

## 6.2 ENSAYOS DE BLOQUES COMERCIALES

Se realizaron los ensayos correspondientes a tres muestras de ladrillos comerciales en arcilla (ensayo a flexión, ensayo a compresión y ensayo de absorción) de acuerdo a lo exigido en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 METODO PARA MUESTREOS Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERIA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA.

### 6.2.1 ENSAYO A FLEXION

**Tabla 3. Datos obtenidos del ensayo a flexión con los adoquines comerciales**

DATOS MODULO DE ROTURA			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	11570	25900	18810
Distancia entre soportes (mm)	195	245	234
Ancho(mm)	103	119	105
Altura(mm)	61	54	67
Distancia del plano de falla al centro de la muestra(mm)	40	60	50

**Fuente: Propia**

### CALCULOS

$$\text{Módulo de Rotura} = 3W (L/2 - X) / bd^2$$

$$\text{MD Muestra 1} = 3 (11570\text{N}) (195\text{mm}/2 - 38\text{mm}) / (103\text{mm}) (61\text{mm})^2 = 5,20 \text{ MPa}$$

$$\text{MD Muestra 2} = 3 (2590\text{N}) (245\text{mm}/2 - 60\text{mm}) / (119\text{mm}) (54\text{mm})^2 = 1,39 \text{ MPa}$$

$$\text{MD Muestra 3} = 3 (18810\text{N}) (234\text{mm}/2 - 50\text{mm}) / (105\text{mm}) (67\text{mm})^2 = 8,02 \text{ MPa}$$

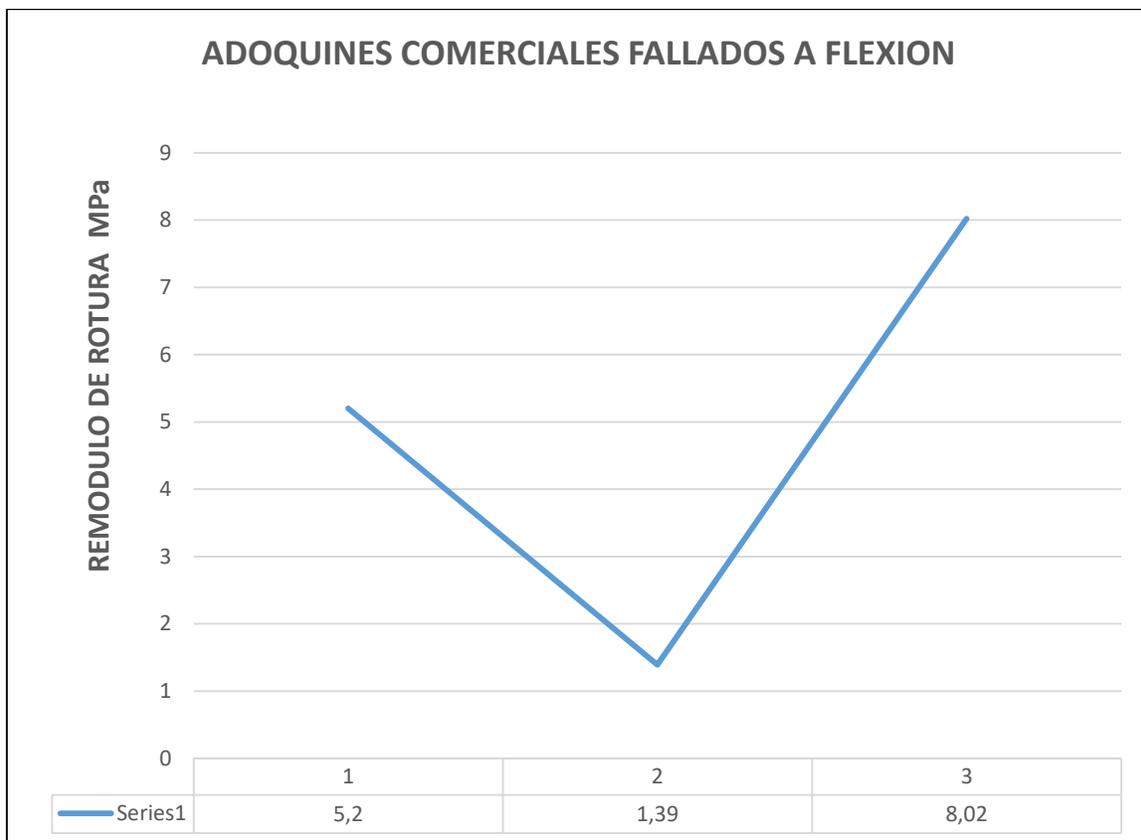
**Tabla 4. Resultados del Módulo de Rotura de los adoquines comerciales**

Identificación de la muestra	Módulo de Rotura (MPa)
Muestra 1	5,20
Muestra 2	1,39
Muestra 3	8,02

**Fuente: Propia**

**Análisis:** La Grafica 1 demuestra que de las tres muestras comerciales sometidas al ensayo a flexión, la muestra número 3 es la que arroja un módulo de rotura mayor con un resultado de 8,02 Mpa interpretándose de forma ascendente y siendo esta la línea base de comparación.

**Gráfica 1. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines comerciales**



**Fuente: Propia.**

## 6.2.2 ENSAYO A COMPRESION

Tabla 5. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los adoquines comerciales

DATOS ENSAYO A COMPRESION			
	MUESTRA 3	MUESTRA 2	MUESTRA 2
Carga Max (N)	50580	28250	32630
Largo (Cm)	20,43	25,1	24,1
Ancho (Cm)	10,3	11,9	10,5
Área (Cm <sup>2</sup> )	210,429	298,69	253,05

Fuente: Propia

## CALCULOS

$$\text{Resistencia a la Compresión} = \frac{W}{A}$$

$$C_{\text{Muestra 3}} = \frac{50580N}{210,429 \text{ Cm}^2} = 240,366 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 1}} = \frac{28250N}{298,69 \text{ Cm}^2} = 94,579 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 2}} = \frac{32630N}{253,05 \text{ Cm}^2} = 128,94 \text{ N/Cm}^2$$

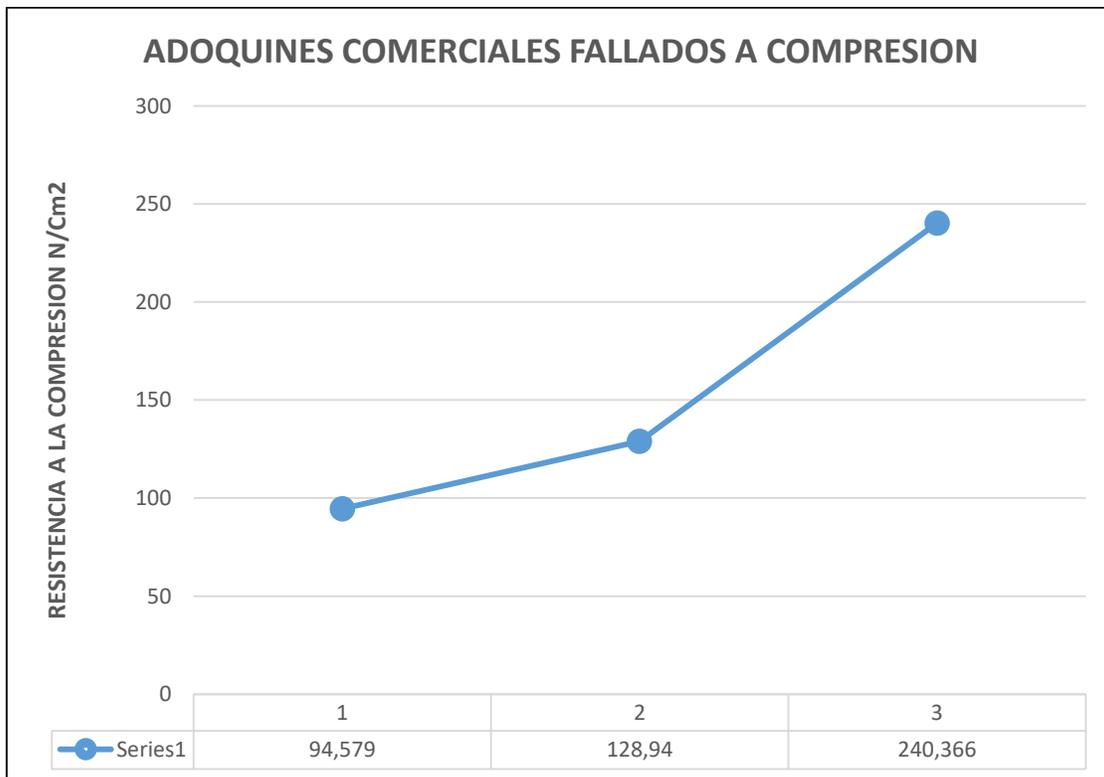
**Tabla 6. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los adoquines comerciales**

Identificación de la muestra	Resistencia a la Compresión (N/Cm <sup>2</sup> )
Muestra 3	240,366
Muestra 1	94,579
Muestra 2	128,94

**Fuente: Propia**

**Análisis:** De la gráfica 2 se observa que de las tres muestras comerciales sometidas al ensayo, la muestra número 3 es la que arroja una resistencia a la compresión mayor con un resultado de 240.366N/Cm<sup>2</sup> siendo ascendente y línea base para comparación.

**Grafica 2. Progresión de la resistencia a la compresión en adoquines comerciales**



**Fuente: Propia.**

### 6.2.3 ENSAYO DE ABSORCION

**Tabla 7. Datos de los adoquines comerciales durante ensayo de absorción**

DATOS			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Masa antes de inmersión (Kg)	2400	2938	3030
Masa después de inmersión (Kg)	2636	3174	3532

**Fuente: Propia**

### CALCULOS

$$\text{Absorción \%} = 100 \times \frac{W_b - W_s}{W_s}$$

$$\text{Absorción Muestra 1 \%} = 100 \times \frac{2636\text{Kg} - 2400\text{Kg}}{2400\text{Kg}} = 9,83\%$$

$$\text{Absorción Muestra 2 \%} = 100 \times \frac{3174\text{Kg} - 2938\text{Kg}}{2938\text{Kg}} = 8,03\%$$

$$\text{Absorción Muestra 3 \%} = 100 \times \frac{3532\text{Kg} - 3030\text{Kg}}{3030\text{Kg}} = 16,56\%$$

**Tabla 8. Resultados de ensayo de absorción de los adoquines comerciales**

Identificación de la muestra	% de absorción
Muestra 1	9,83
Muestra 2	8,03
Muestra 3	16,56

**Fuente: Propia**

### 6.3 ENSAYOS DE ADOQUINES DE MORTERO CON CASCARILLA DE ARROZ CRUDA

Se realizaron los ensayos correspondientes a tres muestras de ladrillos comerciales en arcilla (ensayo a flexión, ensayo a compresión y ensayo de absorción) de acuerdo a lo exigido en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 METODO PARA MUESTREOS Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERIA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA y NTC 4026 UNIDADES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL.

#### 6.3.1 CURADO EN AGUA-ENSAYOS A FLEXION

Ensayo a flexión aplicado a los adoquines de mortero con un 20% de cascarilla de arroz cruda y curados en agua. Fallados a los 7 días (Muestra 1), 14 días (Muestra 2) y 28 días (Muestra 3).

**Tabla 9. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los adoquines de mortero con 20% cascarilla de arroz**

DATOS MODULO DE ROTURA			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	6770	4230	2590
Distancia entre soportes (mm)	235	236	234
Ancho(mm)	100	100	100
Altura(mm)	70	70	70
Distancia del plano de falla al centro de la muestra(mm)	30	20	70

Fuente: Propia

$$\text{Módulo de Rotura} = 3W (L/2 - X) / bd^2$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 1}} = 3 (6770\text{N}) (235\text{mm}/2 - 30\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 3,62 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 2}} = 3 (4230\text{N}) (236\text{mm}/2 - 20\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 2,38 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 3}} = 3 (2590\text{N}) (234\text{mm}/2 - 70\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 1,52 \text{ MPa}$$

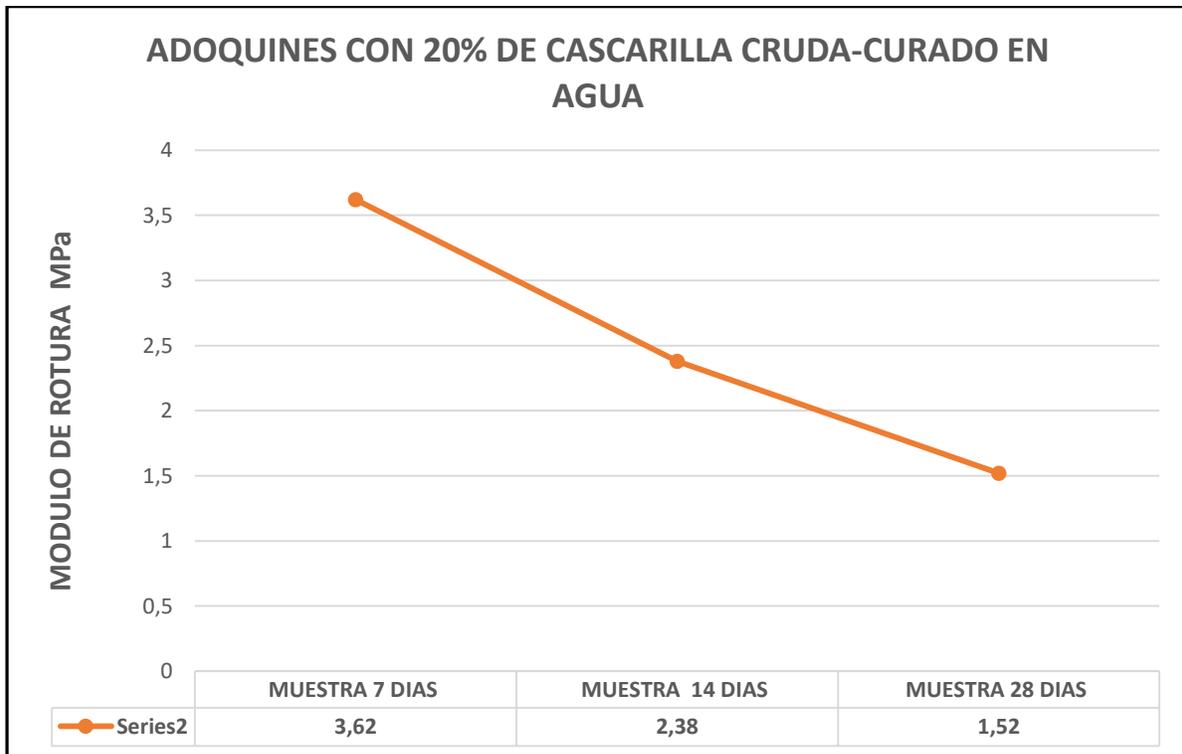
**Tabla 10. Resultados del Módulo de Rotura de los adoquines de mortero con el 20% de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Módulo de Rotura (MPa)
Muestra 1	3,62
Muestra 2	2,38
Muestra 3	1,52

Fuente: Propia

**Análisis:** La gráfica 3 demuestra que de las tres muestras de adoquín en mortero con cascarilla de arroz sometidas al ensayo, la muestra número 1 fallada a los 7 días arroja un módulo de rotura mayor con un resultado de 3,62 MPa y las dos muestras siguientes descienden en su resultado debido al proceso de curado en el cual se obtuvo gran absorción de agua.

**Grafica 3. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en agua.**



Fuente: Propia.

### 6.3.2 CURADO EN AGUA -ENSAYOS A COMPRESION

**Tabla 11. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los adoquines de mortero con el 20% de cascarilla de arroz**

DATOS ENSAYO A COMPRESION			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	10250	15450	18320
Largo (Cm)	24	24	24
Ancho (Cm)	10	10,2	10
Área (Cm <sup>2</sup> )	240	244,8	240

Fuente: Propia

### CALCULOS

$$\text{Resistencia a la Compresión} = \frac{W}{A}$$

$$C_{\text{Muestra 1}} = \frac{10250N}{240\text{Cm}^2} = 47,70 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 2}} = \frac{15450N}{244,8 \text{ Cm}^2} = 63,11 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 3}} = \frac{18320N}{240 \text{ Cm}^2} = 76,33 \text{ N/Cm}^2$$

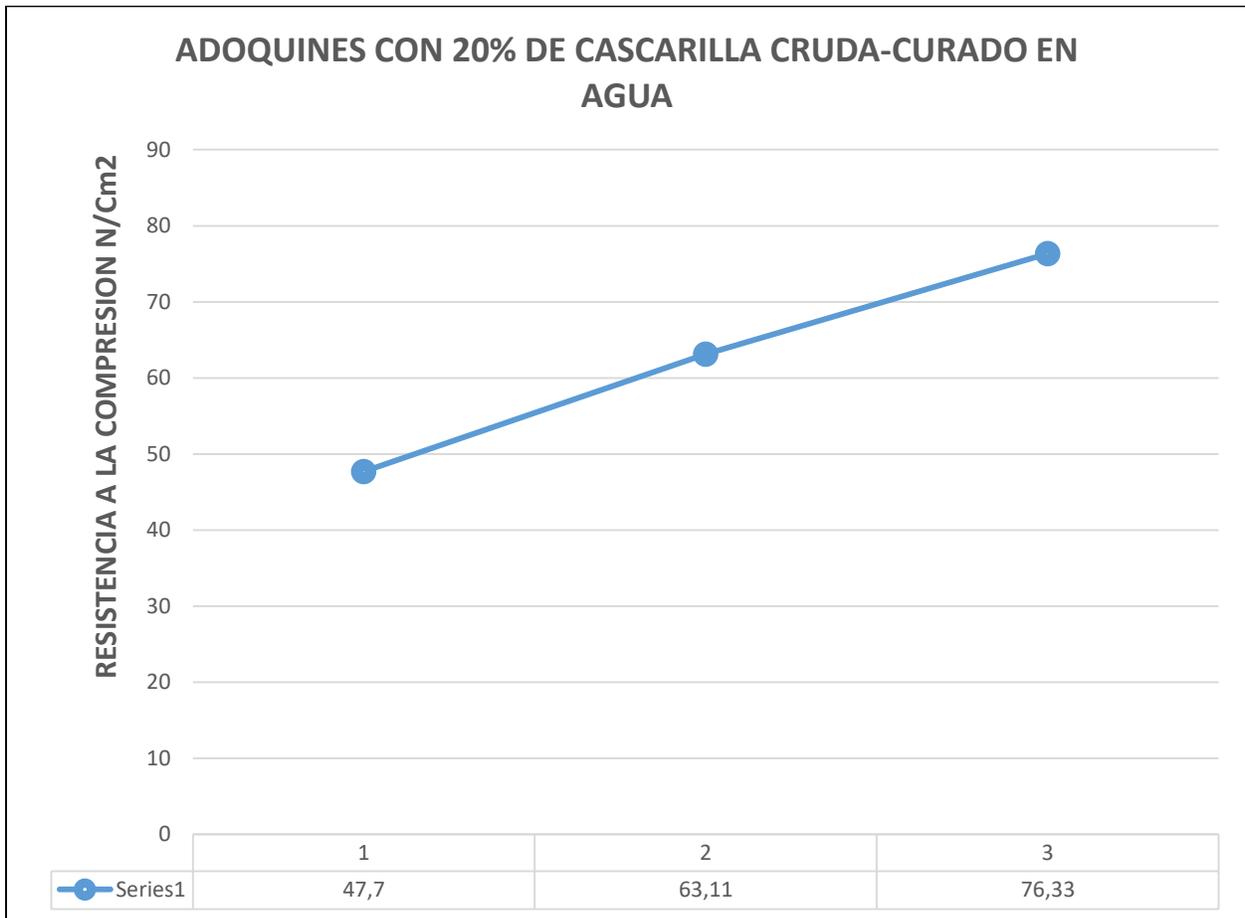
**Tabla 12. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los adoquines de mortero con el 20% de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Resistencia a la Compresión (N/Cm <sup>2</sup> )
Muestra 1	47,70
Muestra 2	63,11
Muestra 3	76,33

Fuente: Propia

**Análisis:** La gráfica 4 demuestra que las tres muestras de adoquín en mortero con cascarilla de arroz sometidas al ensayo ascienden con cada resultado, siendo la tercera muestra fallada a los 28 días con un resultado mayor de 76,33N/Cm<sup>2</sup> lo cual debe ser comparado con la línea base.

**Grafica 4. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en agua.**



**Fuente: Propia.**

### 6.3.3 CURADO AL AMBIENTE - ENSAYOS A FLEXION

Ensayo a flexión aplicado a los adoquines de mortero con un 20% de cascarilla de arroz cruda y curados al ambiente. Fallados a los 7 días (Muestra 1), 14 días (Muestra 2) y 28 días (Muestra 3).

**Tabla 13. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los adoquines de mortero con 20% cascarilla de arroz**

DATOS MODULO DE ROTURA			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	1310	1000	480
Distancia entre soportes (mm)	243	245	245
Ancho(mm)	100	100	100
Altura(mm)	70	70	70
Distancia del plano de falla al centro de la muestra(mm)	70	60	80

Fuente: Propia

$$\text{Módulo de Rotura} = 3W (L/2 - X) / bd^2$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 1}} = 3 (1310\text{N}) (243\text{mm}/2 - 70\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 0,41 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 2}} = 3 (1000\text{N}) (245\text{mm}/2 - 60\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 0,38 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 3}} = 3 (480\text{N}) (245\text{mm}/2 - 80\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 0,12 \text{ MPa}$$

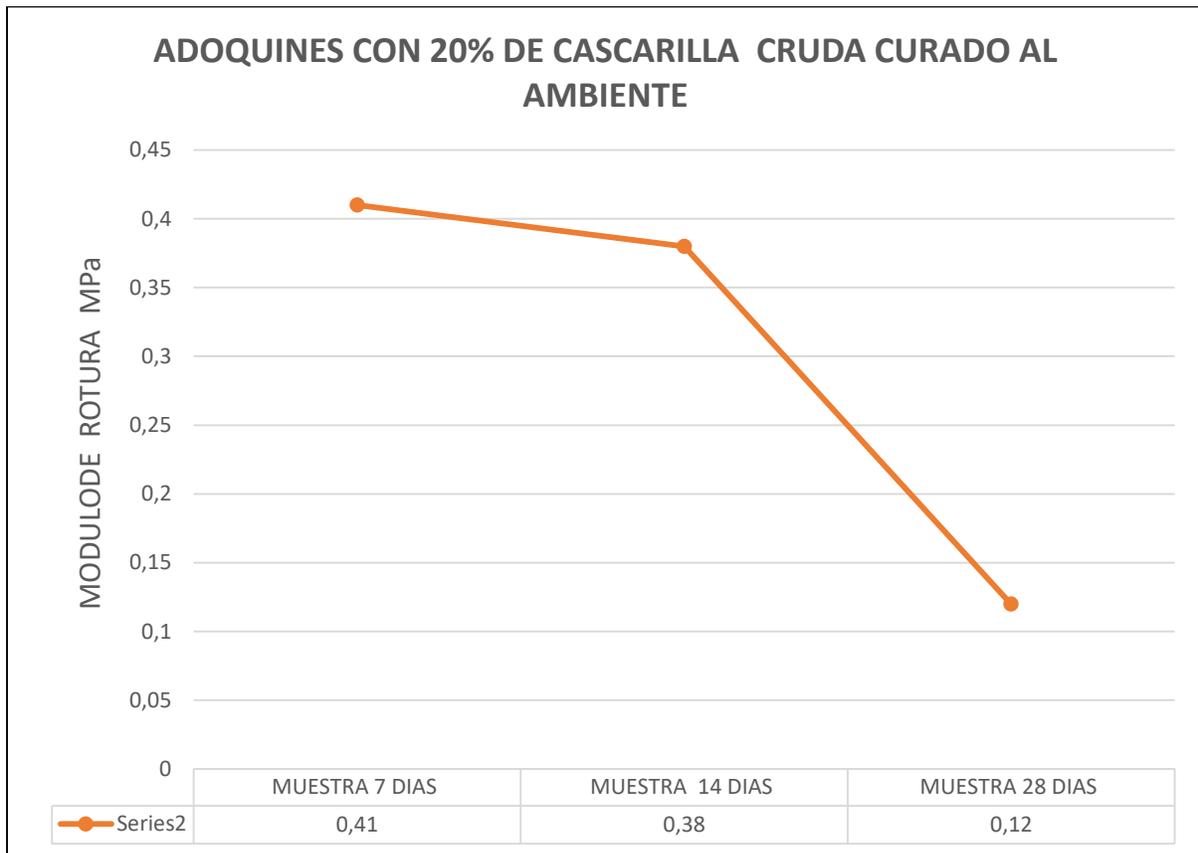
**Tabla 14. Resultados del Módulo de Rotura de los adoquines de mortero con el 20% de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Módulo de Rotura (MPa)
Muestra 1	0,41
Muestra 2	0,38
Muestra 3	0,12

Fuente: Propia

**Análisis:** La gráfica 5 demuestra que de las tres muestras de adoquín en mortero con cascarilla de arroz sometidas al ensayo, la muestra número 1 fallada a los 7 días arroja un módulo de rotura mayor con un resultado de 0,41 MPa y las dos muestras siguientes descienden en su resultado.

**Gráfica 5. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado al ambiente.**



**Fuente: Propia.**

### 6.3.4 CURADO EN AMBIENTE -ENSAYOS A COMPRESION

**Tabla 15. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los bloques de mortero con el 20% de cascarilla de arroz**

DATOS ENSAYO A COMPRESION			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3

Carga Max (N)	10100	11310	15220
Largo (Cm)	24	24	24
Ancho (Cm)	10	10	10
Área (Cm <sup>2</sup> )	240	240	240

Fuente: Propia

## CALCULOS

$$\text{Resistencia a la Compresión} = \frac{W}{A}$$

$$C_{\text{Muestra 1}} = \frac{10100N}{240\text{Cm}^2} = 42,08 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 2}} = \frac{11310N}{240 \text{ Cm}^2} = 47,12 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 3}} = \frac{15220N}{240 \text{ Cm}^2} = 63,41 \text{ N/Cm}^2$$

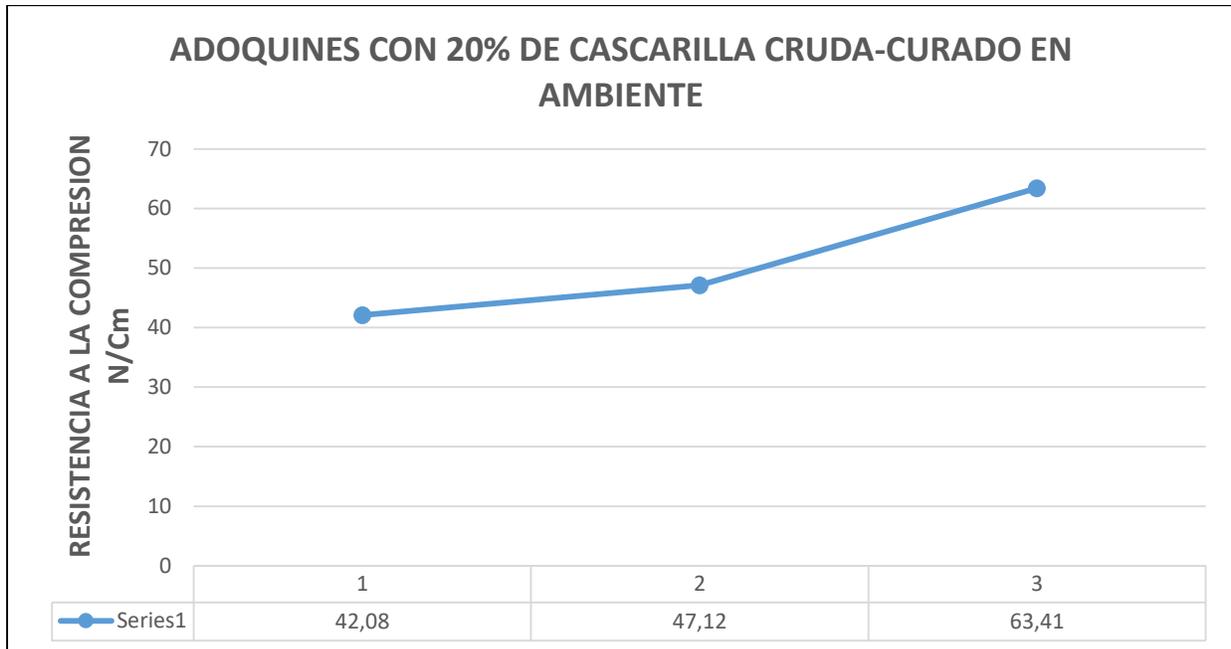
**Tabla 16. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los adoquines de mortero con el 20% de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Resistencia a la Compresión (N/Cm <sup>2</sup> )
Muestra 1	42,08
Muestra 2	47,12
Muestra 3	63,41

Fuente: Propia

**Análisis:** La gráfica 6 demuestra que las tres muestras de adoquín en mortero con cascarilla de arroz sometidas al ensayo ascienden con cada resultado, siendo la tercera muestra fallada a los 28 días con un resultado mayor de 63,41N/Cm<sup>2</sup>

**Grafica 6. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 20% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en Ambiente.**



**Fuente: Propia.**

### 6.3.5 CURADO EN AGUA - ENSAYOS A FLEXION

Ensayo a flexión aplicado a los bloques de mortero con un 30% de cascarilla de arroz cruda y curados en agua. Fallados a los 7 días (Muestra 1), 14 días (Muestra 2) y 28 días (Muestra 3).

**Tabla 17. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los adoquines de mortero con 30% cascarilla de arroz**

DATOS MODULO DE ROTURA			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	5760	3420	1540
Distancia entre soportes (mm)	236	236	235
Ancho(mm)	100	100	100
Altura(mm)	70	70	70
Distancia del plano de falla al centro de la muestra(mm)	30	20	70

**Fuente: Propia**

$$\text{Módulo de Rotura} = 3W (L/2 - X) / bd^2$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 1}} = 3 (5760\text{N}) (236\text{mm}/2 - 30\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 3,10 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 2}} = 3 (3420\text{N}) (236\text{mm}/2 - 20\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 2,05 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 3}} = 3 (1540\text{N}) (235\text{mm}/2 - 70\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 0,44 \text{ MPa}$$

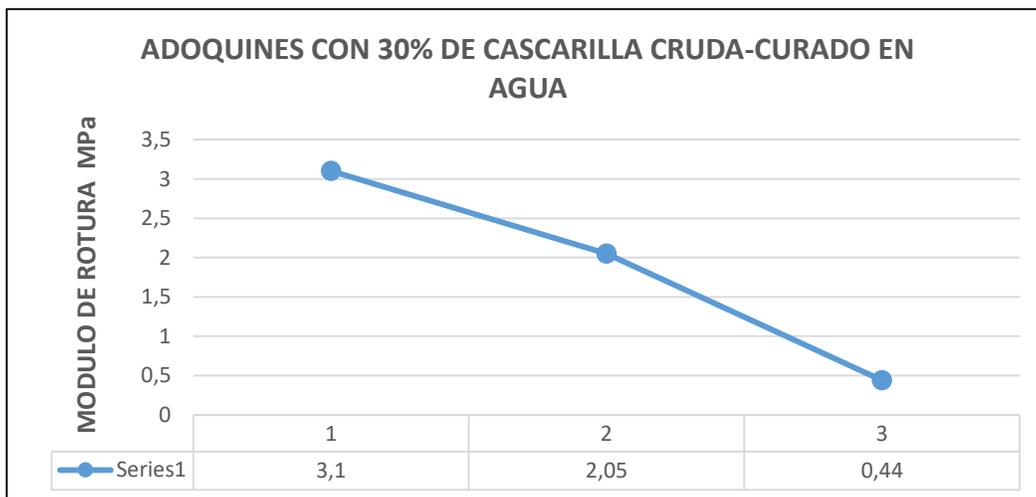
**Tabla 18. Resultados del Módulo de Rotura de los adoquines de mortero con el 30% de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Módulo de Rotura (MPa)
Muestra 1	3,10
Muestra 2	2,05
Muestra 3	0,44

Fuente: Propia

**Análisis:** La gráfica 7 demuestra que de las tres muestras de adoquín en mortero con cascarilla de arroz sometidas al ensayo, la muestra número 1 fallada a los 7 días arroja un módulo de rotura mayor con un resultado de 0,41 MPa y las dos muestras siguientes descienden en su resultado.

**Grafica 7. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 30% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en agua.**



Fuente: Propia.

### 6.3.6 CURADO EN AGUA -ENSAYOS A COMPRESION

**Tabla 19. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los adoquines de mortero con el 30% de cascarilla de arroz**

DATOS ENSAYO A COMPRESION			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	9210	10000	12320
Largo (Cm)	24	24	24
Ancho (Cm)	10	10	10
Área (Cm <sup>2</sup> )	240	240	240

Fuente: Propia

#### CALCULOS

$$\text{Resistencia a la Compresión} = \frac{W}{A}$$

$$C_{\text{Muestra 1}} = \frac{9210N}{240\text{Cm}^2} = 38,375 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 2}} = \frac{10000N}{240 \text{ Cm}^2} = 41,66 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 3}} = \frac{12320N}{240 \text{ Cm}^2} = 51,33 \text{ N/Cm}^2$$

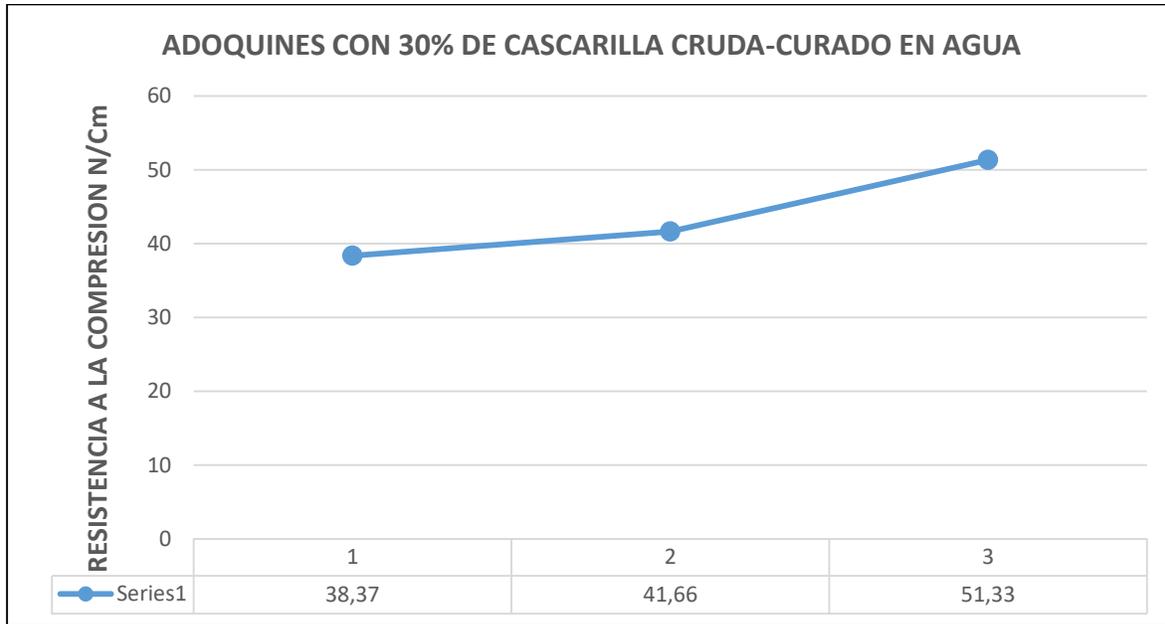
**Tabla 20. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los adoquines de mortero con el 30% de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Resistencia a la Compresión (N/Cm <sup>2</sup> )
Muestra 1	38,37
Muestra 2	41,66
Muestra 3	51,33

Fuente: Propia

**Análisis:** La gráfica 8 demuestra que las tres muestras de adoquín en mortero con cascarilla de arroz sometidas al ensayo ascienden con cada resultado, siendo la tercera muestra fallada a los 28 días con un resultado mayor de 51,33N/Cm<sup>2</sup>.

**Grafica 8. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 30% de cascarilla de arroz cruda en diferentes días de fraguado. Curado en Ambiente.**



**Fuente: Propia.**

## **6.4 ENSAYOS DE ADOQUINES DE MORTERO CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ**

### **6.4.1 CURADO EN AGUA -ENSAYOS A FLEXION**

Ensayo a flexión aplicado a los bloques de mortero con un 20% de ceniza de cascarilla de arroz y curados en agua. Fallados a los 7 días (Muestra 1), 14 días (Muestra 2) y 28 días (Muestra 3).

**Tabla 21. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los adoquines de mortero con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz**

DATOS MODULO DE ROTURA			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	2260	4520	6230
Distancia entre soportes (mm)	200	200	200
Ancho(mm)	100	100	100
Altura(mm)	70	70	70
Distancia del plano de falla al centro de la muestra(mm)	60	60	70

**Fuente: Propia**

$$\text{Módulo de Rotura} = 3W (L/2 - X) / bd^2$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 1}} = 3 (2260\text{N}) (200\text{mm}/2 - 60\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 0,55 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 2}} = 3 (4520\text{N}) (200\text{mm}/2 - 60\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 1,10 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 3}} = 3 (6230\text{N}) (200\text{mm}/2 - 30\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 2,67 \text{ MPa}$$

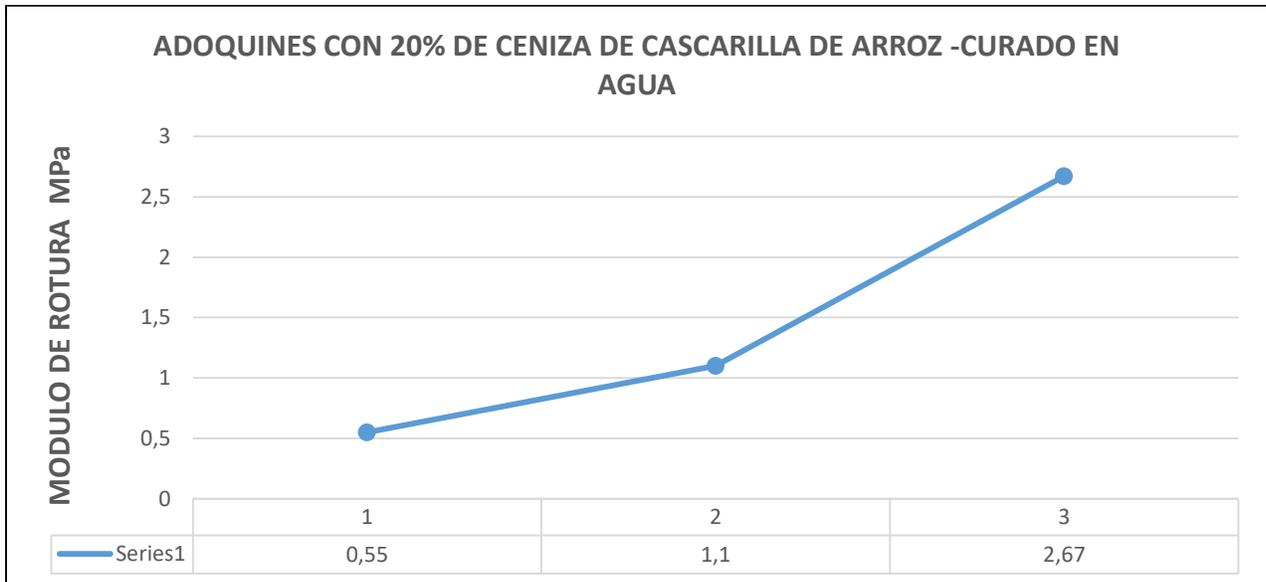
**Tabla 22. Resultados del Módulo de Rotura de los adoquines de mortero con el 20% de Ceniza de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Módulo de Rotura (MPa)
Muestra 1	0,55
Muestra 2	1,10
Muestra 3	2,67

**Fuente: Propia**

**Análisis:** La gráfica 9 demuestra que de las tres muestras de adoquín en mortero con ceniza de cascarilla de arroz sometidas al ensayo, la muestra número 3 fallada a los 28 días arroja un módulo de rotura mayor con un resultado de 2,67 MPa, obteniendo una línea ascendente.

**Grafica 9. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz en diferentes días de fraguado. Curado en agua.**



**Fuente: Propia.**

#### 6.4.2 CURADO EN AGUA -ENSAYOS A COMPRESION

**Tabla 23. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los adoquines de mortero con el 20% de Ceniza de cascarilla de arroz**

DATOS ENSAYO A COMPRESION			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	12400	17000	19600
Largo (Cm)	24	24	24
Ancho (Cm)	10,2	10,2	10
Área (Cm <sup>2</sup> )	244,8	244,8	240

**Fuente: Propia**

## CALCULOS

$$\text{Resistencia a la Compresión} = \frac{W}{A}$$

$$C_{\text{Muestra 1}} = \frac{12400N}{244,8\text{Cm}^2} = 50,65 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 2}} = \frac{17000N}{244,8 \text{ Cm}^2} = 69,44 \text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 3}} = \frac{19600N}{240 \text{ Cm}^2} = 81,66 \text{ N/Cm}^2$$

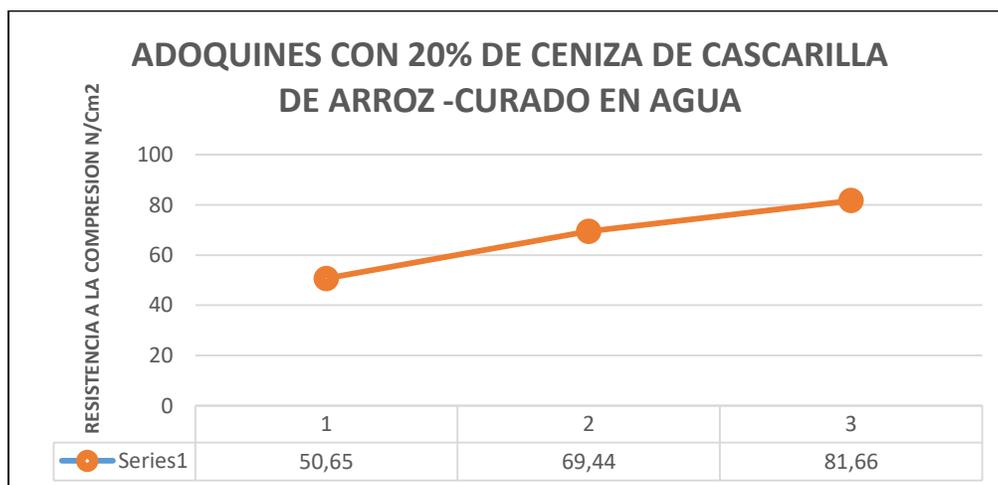
**Tabla 24. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los adoquines de mortero con el 20% de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Resistencia a la Compresión (N/Cm <sup>2</sup> )
Muestra 1	50,65
Muestra 2	69,44
Muestra 3	81,66

Fuente: Propia

**Análisis:** La gráfica 10 demuestra que las tres muestras de adoquín en mortero con ceniza de cascarilla de arroz sometidas al ensayo ascienden con cada resultado, siendo la tercera muestra fallada a los 28 días con un resultado mayor de 81,66N/Cm<sup>2</sup>.

**Grafica 10. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz en diferentes días de fraguado. Curado en agua.**



Fuente: Propia.

### 6.4.3 CURADO EN AMBIENTE -ENSAYOS A FLEXION

Ensayo a flexión aplicado a los adoquines de mortero con un 20% de ceniza de cascarilla de arroz y curados a temperatura ambiente. Fallados a los 7 días (Muestra 1), 14 días (Muestra 2) y 28 días (Muestra 3).

**Tabla 25. Datos obtenidos del ensayo a flexión aplicados a los bloques de mortero con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz – curado ambiente**

DATOS MODULO DE ROTURA			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	4260	6500	8200
Distancia entre soportes (mm)	200	200	200
Ancho(mm)	100	100	100
Altura(mm)	70	70	70
Distancia del plano de falla al centro de la muestra(mm)	60	60	70

**Fuente: Propia**

$$\text{Módulo de Rotura} = 3W (L/2 - X) / bd^2$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 1}} = 3 (4260\text{N}) (200\text{mm}/2 - 60\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 1,04 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 2}} = 3 (6500\text{N}) (200\text{mm}/2 - 60\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 1,59 \text{ MPa}$$

$$\text{MD}_{\text{Muestra 3}} = 3 (8200\text{N}) (200\text{mm}/2 - 30\text{mm}) / (100\text{mm}) (70\text{mm})^2 = 3,51 \text{ MPa}$$

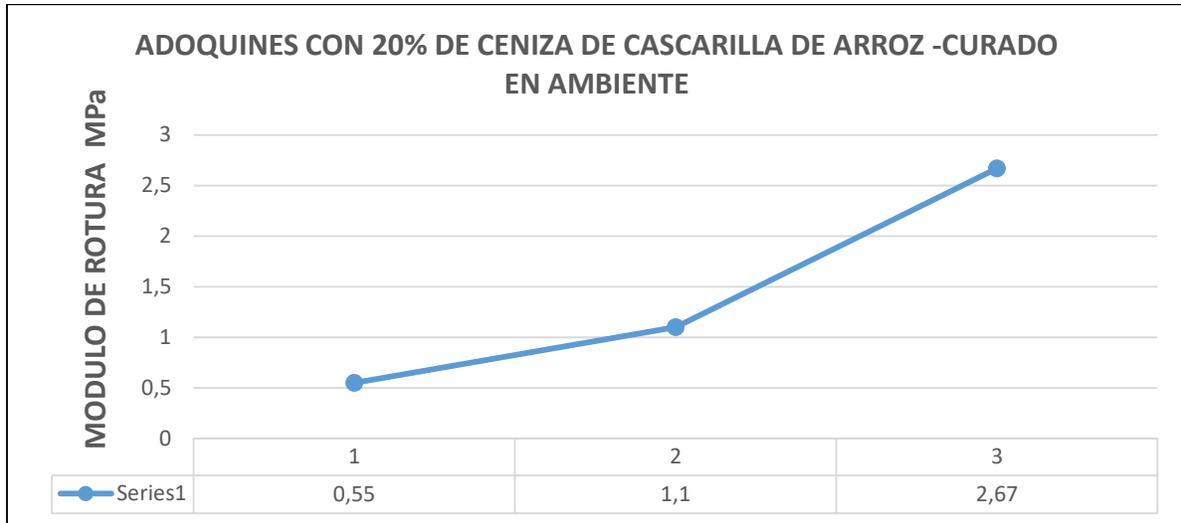
**Tabla 26. Resultados del Módulo de Rotura de los adoquines de mortero con el 20% de Ceniza de cascarilla de arroz-curado ambiente**

Identificación de la muestra	Módulo de Rotura (Mpa)
Muestra 1	1,04
Muestra 2	1,59
Muestra 3	3,51

**Fuente: Propia**

**Análisis:** La gráfica 11 demuestra que de las tres muestras de adoquín en mortero con ceniza de cascarilla de arroz sometidas al ensayo, la muestra número 3 fallada a los 28 días arroja un módulo de rotura mayor con un resultado de 2,67 Mpa, obteniendo una línea ascendente.

**Grafica 11. Progresión del Módulo de Rotura en adoquines de mortero mezclados con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz en diferentes días de fraguado. Curado en ambiente.**



**Fuente: Propia.**

#### 6.4.4 CURADO EN AMBIENTE -ENSAYOS A COMPRESION

**Tabla 27. Datos obtenidos del ensayo a compresión con los adoquines de mortero con el 20% de Ceniza de cascarilla de arroz**

DATOS ENSAYO A COMPRESION			
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Carga Max (N)	18000	22500	35200
Largo (Cm)	24	24	24
Ancho (Cm)	10	10	10
Área (Cm <sup>2</sup> )	240	240	240

**Fuente: Propia**

## CALCULOS

$$\text{Resistencia a la Compresión} = \frac{W}{A}$$

$$C_{\text{Muestra 1}} = \frac{18000N}{240\text{Cm}^2} = 75\text{N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 2}} = \frac{22500N}{240\text{Cm}^2} = 93,75\text{ N/Cm}^2$$

$$C_{\text{Muestra 3}} = \frac{35200N}{240\text{Cm}^2} = 146.66\text{ N/Cm}^2$$

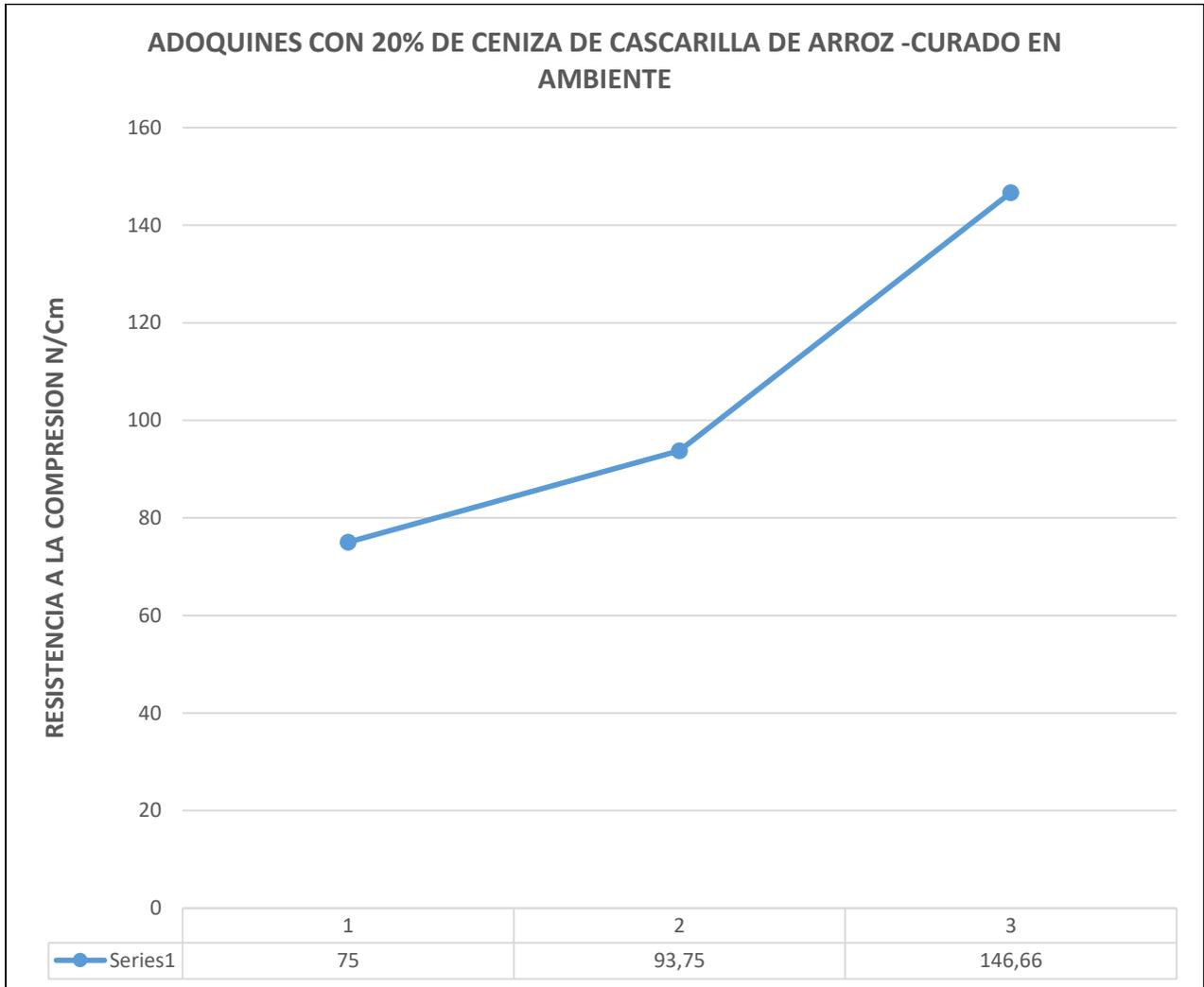
**Tabla 28. Resultados de la Resistencia a la Compresión de los adoquines de mortero con el 20% de cascarilla de arroz**

Identificación de la muestra	Resistencia a la Compresión (N/Cm <sup>2</sup> )
Muestra 1	75
Muestra 2	93,75
Muestra 3	146,66

**Fuente: Propia**

**Análisis:** La gráfica 12 demuestra que las tres muestras de adoquín en mortero con ceniza de cascarilla de arroz sometidas al ensayo ascienden con cada resultado, siendo la tercera muestra fallada a los 28 días con un resultado mayor de 146,66N/Cm<sup>2</sup>, el cual es compara con los datos obtenidos anteriormente y con los datos que darán los ensayos realizados en el laboratorio certificado de Edyconst, esto con el fin de que los resultados del proyecto sean confiables

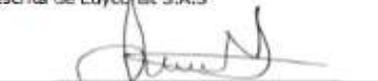
**Grafica 12. Progresión de la Resistencia a la Compresión en adoquines de mortero mezclados con 20% de Ceniza de cascarilla de arroz en diferentes días de fraguado. Curado en ambiente.**



**Fuente: Propia.**

## 6.5 ENSAYOS DE BLOQUES EN EL LABORATORIO EDYCONST

Tabla 29. Resultados de bloques sometidos a ensayo de compresión

 ESTUDIOS, DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES CARLOS NIETO S.A.S										
METODO PARA MUESTREO Y ENSAYOS DESDE UNIDADES MAMPOSTERIA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA NTC 4017 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN										
TIPO DE BLOQUE:		ADOQUINES A COMPRESIÓN								
CONTRATISTA:		CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS								
PROYECTO:		SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN								
FECHA DE TOMA:		27-jul-18			FECHA DE ENSAYO:		23-ago-18			
MUESTRA N°	LOCALIZACION	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTO (CM)	AREAS		RESULTADO RESISTENCIA NETA			
					BRUTA (CM2)	FUERZA KNw	Kg	Kg/Cm2	PSI	MPa
1	C1	20,0	10,1	5,9	202,0	120,9	12328,3	61,0	871,87	5,99
2	C2	20,0	10,3	6,1	206,0	124,2	12664,8	61,5	878,28	6,03
3	C3	23,0	11,1	5,9	255,3	177,8	18130,4	71,0	1014,52	6,96
4	C4	23,0	11,0	6,0	253,0	209,4	21352,7	84,4	1205,69	8,28
5	C5	24,9	10,4	7,2	259,0	127,5	13001,3	50,2	717,23	4,92
6	C6	24,5	10,4	7,9	254,8	99,4	10135,9	39,8	568,28	3,90
7	C7	23,3	11,9	7,1	277,3	121,8	12420,1	44,8	639,92	4,39
PROMEDIO					NO APLICA					
<b>OBSERVACIONES:</b> Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo. El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproduccion parcial o total de este documento sin la debida autorizacion escrita de Edyconst S.A.S										
 CARLOS ANDRÉS NIETO L. REPRESENTANTE LEGAL					 LAURA MARICELA VELASCO C. DIRECTORA DE LABORATORIO					

Fuente: Tabla enviada por laboratorios Edyconst (Agosto, 2018)

Tabla 30. Resultados de absorción de bloques sometidos a ensayo de compresión



**ESTUDIOS, DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES CARLOS NIETO S.A.S**

**ABSORCION DE AGUA (Aa) % SEGÚN EL PESO (DENSIDAD) DEL CONCRETO SECADO EN HORNO, Kg/Cm3 SEGÚN NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4026**

<b>TIPO DE BLOQUE:</b>	ADOQUINES A COMPRESIÓN		
<b>CONTRATISTA:</b>	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS		
<b>PROYECTO:</b>	SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN		
<b>FECHA DE TOMA:</b>	27-jul-18	<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	23-ago-18

MUESTRA N°	LOCALIZACIÓN	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTO (CM)	MASA HUMEDA(gr)	MASA SECA (gr)	ABSORCION
1	C1	20,0	10,1	5,9	908,0	822,0	10
2	C2	20,0	10,3	6,1	781,0	716,0	9
3	C3	23,0	11,1	5,9	642,0	558,0	15
4	C4	23,0	11	6,0	671,0	585,0	15
5	C5	24,9	10,4	7,2	611,0	426,0	43
6	C6	24,5	10,4	7,9	562,0	393,0	43
7	C7	23,3	11,9	7,1	565,0	435,0	30

<b>PROMEDIO</b>	<b>NO APLICA</b>
-----------------	------------------

PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL		
ABSORCION DE AGUA (Aa) % SEGÚN EL PESO (DENSIDAD) DEL CONCRETO SECADO EN HORNO, Kg/Cm3		
CLASE	NORMA	ENSAYO
	FROM 3 U	FROM 3 U
BAJA	1B	NO APLICA
	CUMPLE	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO

**OBSERVACIONES:** Los resultados presentados corresponden únicamente a la muestra sometida a ensayo. El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproducción parcial o total de este documento sin la debida autorización escrita de Edyconst S.A.S



\_\_\_\_\_  
CARLOS ANDRES NIETO L.  
REPRESENTANTE LEGAL



\_\_\_\_\_  
LAURA MARICELA VELASCO C.  
DIRECTORA DE LABORATORIO

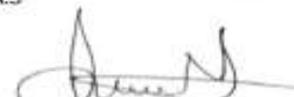
Fuente: Tabla enviada por laboratorios Edyconst (Agosto, 2018)

Tabla 31. Resultados de bloques sometidos a ensayo de flexión.

 <b>ESTUDIOS, DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES CARLOS NIETO S.A.S</b>								
<b>METODO PARA MUESTREO Y ENSAYOS DESDE UNIDADES MAMPOSTERIA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA NTC-4017</b> <b>MODULO DE ROTURA (ENSAYOS DE FLEXIÓN)</b>								
<b>TIPO DE BLOQUE:</b>	ADOQUINES A FLEXIÓN							
<b>CONTRATISTA:</b>	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS							
<b>PROYECTO:</b>	SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN							
<b>FECHA DE TOMA:</b>	27-jul-18				<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	23-ago-18		
							RESULTADO	
							RESISTENCIA NETA MR	
MUESTRA N°	LOCALIZACION	LARGO (L) (mm)	ANCHO (b) (mm)	ALTO (d) (mm)	X (mm)	FUERZA KNw	Nw	Fa
1	F1	175,0	96,0	64,0	15,0	11,3	11300,0	6,3
2	F2	179,0	102,0	61,0	18,0	10,6	10600,0	6,0
3	F3	207,0	111,0	57,0	13,0	17,2	17200,0	12,9
4	F4	208,0	110,0	60,0	14,0	19,4	19400,0	13,2
5	F5	225,0	98,0	75,0	12,0	20,4	20400,0	11,2
6	F6	225,0	109,0	81,0	10,0	9,7	9700,0	4,2
7	F7	208,0	110,0	72,0	13,0	12,7	12700,0	6,1
CONVENCIONES								
<b>MR:</b> Módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en pa.								
<b>W:</b> Carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N.								
<b>L:</b> Distancia entre los soportes (medida centro a centro), en mm.								
<b>b:</b> ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm.								
<b>d:</b> profundidad, (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla, en mm.								
<b>x:</b> distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm.								
<b>OBSERVACIONES:</b> Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo. El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproducción parcial o total de este documento sin la debida autorización escrita de Edyconst S.A.S								
 ING. CARLOS ANDRES NIETO L. REPRESENTANTE LEGAL				 LAURA MARICELA VELASCO C. DIRECTORA DE LABORATORIO				

Fuente: Tabla enviada por laboratorios Edyconst (Agosto, 2018)

Tabla 32. Resultados de absorción de bloques sometidos a ensayo de flexión.

 ESTUDIOS, DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES CARLOS NIETO S.A.S																									
ABSORCION DE AGUA (Aa) % SEGÚN EL PESO (DENSIDAD) DEL CONCRETO SECADO EN HORNO, Kg/Cm3 SEGÚN NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4024																									
TIPO DE BLOQUE:		ADOQUINES A FLEXIÓN																							
CONTRATISTA:		CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS																							
PROYECTO:		SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN																							
FECHA DE TOMA:		27-jul-18			FECHA DE ENSAYO:		23-ago-18																		
MUESTRA N°	LOCALIZACION	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTO (CM)	MASA HUMEDA(gr)	MASA SECA (gr)	ABSORCION																		
1	F1	20,0	9,6	6,1	1057,0	993,0	6																		
2	F2	20,4	10,2	6,1	1049,0	999,0	5																		
3	F3	23,2	11,1	5,7	560,0	503,0	11																		
4	F4	23,3	11,0	6,0	467,0	416,0	12																		
5	F5	25,0	9,8	7,5	500,0	419,0	19																		
6	F6	25,0	10,9	8,1	468,0	372,0	26																		
7	F7	23,3	11,0	7,2	562,0	469,0	20																		
PROMEDIO							NO APLICA																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">PROPIEDADES FISICAS DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL</th> </tr> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">ABSORCION DE AGUA (Aa) % SEGÚN EL PESO (DENSIDAD) DEL CONCRETO SECADO EN HORNO, Kg/Cm3</th> </tr> <tr> <th>CLASE</th> <th>NORMA</th> <th>ENSAYO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>PROM 3 U</td> <td>PROM 3 U</td> </tr> <tr> <td>BAJA</td> <td>1B</td> <td>NO APLICA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">CUMPLE</td> <td style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> SI    <input type="checkbox"/> NO                 </td> </tr> </tbody> </table>								PROPIEDADES FISICAS DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL			ABSORCION DE AGUA (Aa) % SEGÚN EL PESO (DENSIDAD) DEL CONCRETO SECADO EN HORNO, Kg/Cm3			CLASE	NORMA	ENSAYO		PROM 3 U	PROM 3 U	BAJA	1B	NO APLICA	CUMPLE		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
PROPIEDADES FISICAS DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL																									
ABSORCION DE AGUA (Aa) % SEGÚN EL PESO (DENSIDAD) DEL CONCRETO SECADO EN HORNO, Kg/Cm3																									
CLASE	NORMA	ENSAYO																							
	PROM 3 U	PROM 3 U																							
BAJA	1B	NO APLICA																							
CUMPLE		<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO																							
<p><b>OBSERVACIONES:</b> Los resultados presentados corresponden unicamente a la muestra sometida a ensayo. El laboratorio no asume responsabilidad alguna por la reproduccion parcial o total de este documento sin la debida autorizacion escrita de Edyconst S.A.S</p>																									
 CARLOS ANDRES NIETO L. REPRESENTANTE LEGAL				 LAURA MARICELA VELASCO C. DIRECTORA DE LABORATORIO																					

Fuente: Tabla enviada por laboratorios Edyconst (Agosto, 2018)

### 6.5.1 ANALISIS ENSAYOS EN LABORATORIO DE EDYCONST

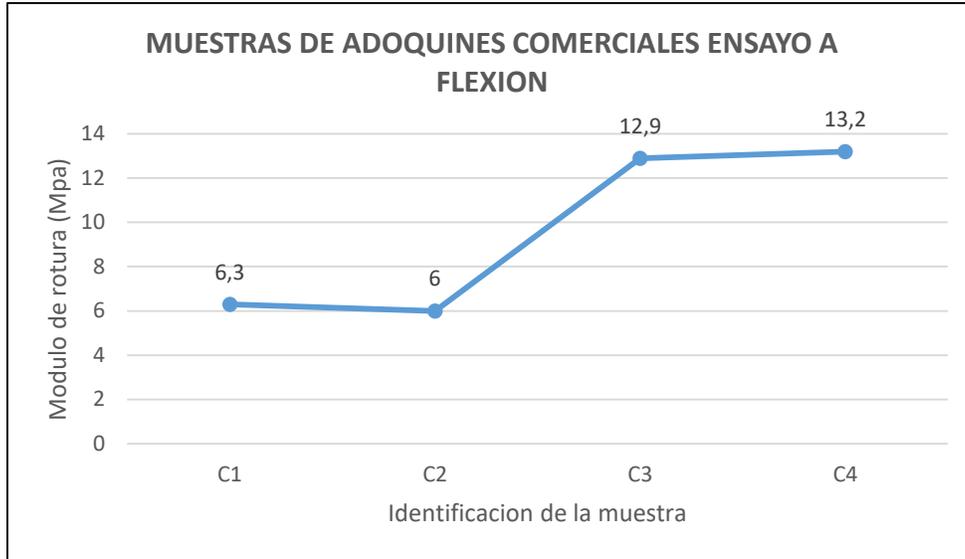
Actividad	Justificación	RESULTADO EDYCONST / ANÁLISIS
<p><b>Ensayo a Flexión</b> sobre elementos de mampostería. Proveedor certificado EDYCONST. Solicitado el 05-jul-18</p>	<p>7 Ensayos a Flexión sobre elementos de mampostería. Proveedor certificado EDYCONST. Para resultados del Proyecto "Diseño de un prototipo de adoquín ecológico con la mezcla de biomateriales del municipio de Girardot Cundinamarca". La entrega de los resultados es de ocho (8) días hábiles contados a partir del día de la finalización de los trabajos de campo correspondientes.</p>	<p>Son los primeros resultados para la línea base que nos servirá de marco de referencia para la resistencia a la flexión de los prototipos. Los C1 y C2 Elementos Comerciales de mortero arrojaron un resultado de 6.1 MPa. Los elementos C3 y C4 que son Comerciales de arcilla cocida nos arrojan un resultado de 13 MPa en promedio. Nuestro prototipo mezclado con cascarilla cruda C5 y C6 nos muestran 4.2 y 11.2 MPa. Luego de 45 días de fraguado, lo cual nos muestra un resultado por debajo del 70% del comercial de mortero. El prototipo C7 de cascarilla en ceniza con 20 días de fraguado muestra 6.1 MPa que al ser tomada con 20 días de fraguado es probable que nos de valores por encima de 7 MPa. Luego de 45 días de fraguado, lo cual será excelente. Necesitaremos comprobarlo con más ensayos.</p>
<p><b>Ensayo de absorción</b> Prototipos sometidos a flexión</p>	<p>7 Ensayos de absorción sobre elementos de mampostería. Proveedor certificado EDYCONST. Para resultados del Proyecto "Diseño de un prototipo de adoquín ecológico con la mezcla de biomateriales del municipio de Girardot Cundinamarca". La entrega de los resultados es de ocho (8) días hábiles contados a partir del día de la finalización de los trabajos de campo correspondientes.</p>	<p>Son los primeros resultados para la línea base que nos servirá de marco de referencia para establecer el porcentaje de absorción de los prototipos. Los C1 y C2 Elementos Comerciales de mortero obtuvieron un 5% de absorción. Nuestro prototipo mezclado con cascarilla cruda C5 y C6 nos muestran 19% y 26%. Los elementos C3 y C4 que son Comerciales de arcilla cocida nos arrojan un resultado de 11.5% en promedio. El prototipo C7 de cascarilla en ceniza un 20% Necesitaremos comprobarlo con más ensayos.</p>
<p><b>Ensayo a Compresión</b> sobre</p>	<p>7 Ensayos a Compresión de Adoquín de Mortero. Proveedor certificado EDYCONST. Para resultados del</p>	<p>Se tienen los primeros datos de la línea base que nos servirá de marco de referencia para encontrar la mezcla ideal de mortero con la cascarilla de arroz.</p>

<p>elementos de mampostería. Proveedor certificado EDYCONST. Solicitado el 05-jul-18</p>	<p>Proyecto "Diseño de un prototipo de adoquín ecológico con la mezcla de biomateriales del municipio de Girardot Cundinamarca". La entrega de los resultados es de ocho (8) días hábiles contados a partir del día de la finalización de los trabajos de campo correspondientes.</p>	<p>Los C1 y C2 Elementos Comerciales de mortero obtuvieron como resistencia a la compresión 870 PSI. Nuestro prototipo mezclado con cascarilla cruda C5 y C6 nos muestra 717 Y 568 PSI. Luego de 45 días de fraguado, lo cual nos muestran resultados por debajo del 85% del comercial de mortero. Los elementos C3 y C4 que son Comerciales de arcilla cocida nos arrojan un resultado de 1100 PSI de <b>Resistencia a la Compresión</b> en promedio. El prototipo C7 con mezcla de ceniza de cascarilla con 20 días de fraguado 639 PSI presupuesta datos de 800 PSI después de 40 días, que necesitamos confirmar con las siguientes pruebas.</p>
<p><b>Ensayo de absorción</b> Prototipos sometidos a compresión</p>	<p>7 Ensayos de absorción sobre elementos de mampostería. Proveedor certificado EDYCONST para resultados del Proyecto "Diseño de un prototipo de adoquín ecológico con la mezcla de biomateriales del municipio de Girardot Cundinamarca". La entrega de los resultados es de ocho (8) días hábiles contados a partir del día de la finalización de los trabajos de campo correspondientes.</p>	<p>Son los primeros resultados para la línea base que nos servirá de marco de referencia para establecer el porcentaje de absorción de los prototipos. Los C1 y C2 Elementos Comerciales de mortero obtuvieron un 9.5% de absorción. Los elementos C3 y C4 que son Comerciales de arcilla cocida nos arrojan un resultado de 15% en promedio. Nuestro prototipo mezclado con cascarilla cruda C5 y C6 nos muestran 43% y 26%. El prototipo C7 de cascarilla en ceniza un 30% Necesitaremos comprobarlo con más ensayos.</p>

**Fuente: Propia.**

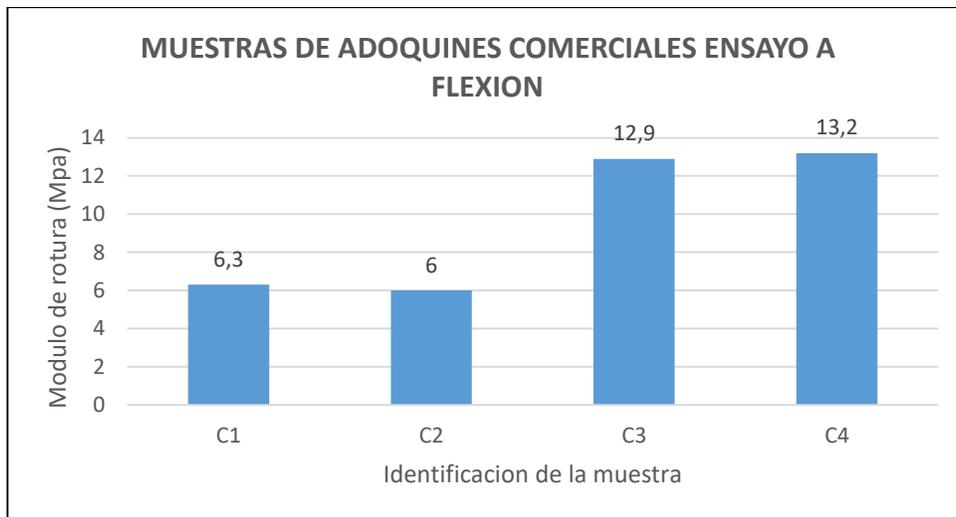
## 6.5.2 GRAFICAS RESULTADOS ENSAYOS A FLEXION

**Grafica 13. Resultados ensayo a flexión de adoquines comerciales (Grafico de líneas).**



Fuente: Propia

**Grafica 14. Resultados ensayo a flexión de adoquines comerciales (Grafico de barras).**

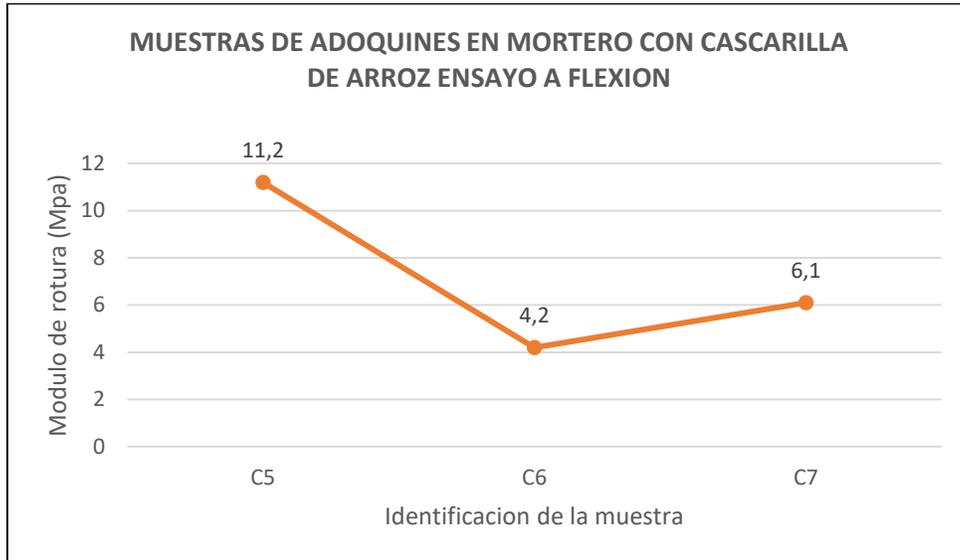


Fuente: Propia

DONDE:

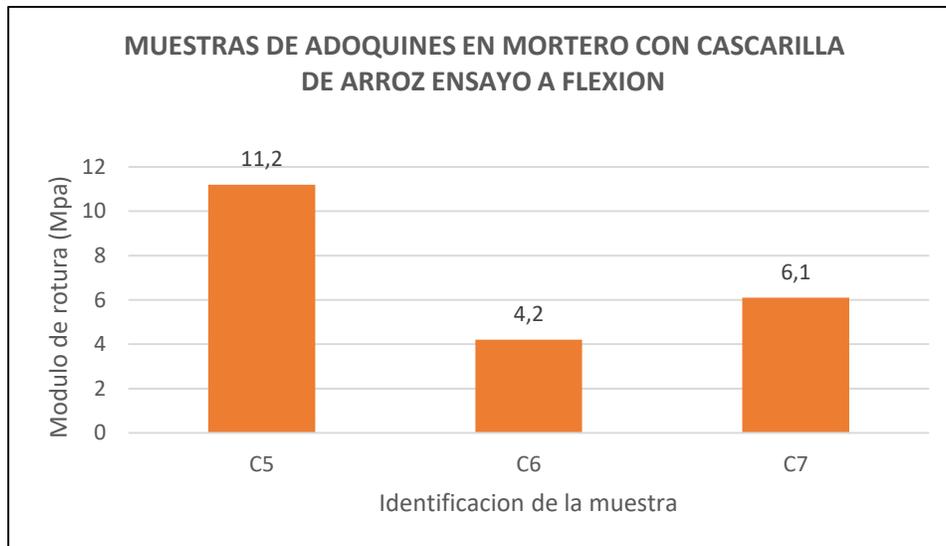
- C1 Y C2: son adoquines comerciales de mortero
- C3 Y C4: son adoquines comerciales de arcilla

**Grafica 15. Resultados ensayo a flexión de adoquines en mortero con cascarilla de arroz (Grafico de líneas).**



Fuente: Propia

**Grafica 16. Resultados ensayo a flexión de adoquines en mortero con cascarilla de arroz (Grafico de barras).**



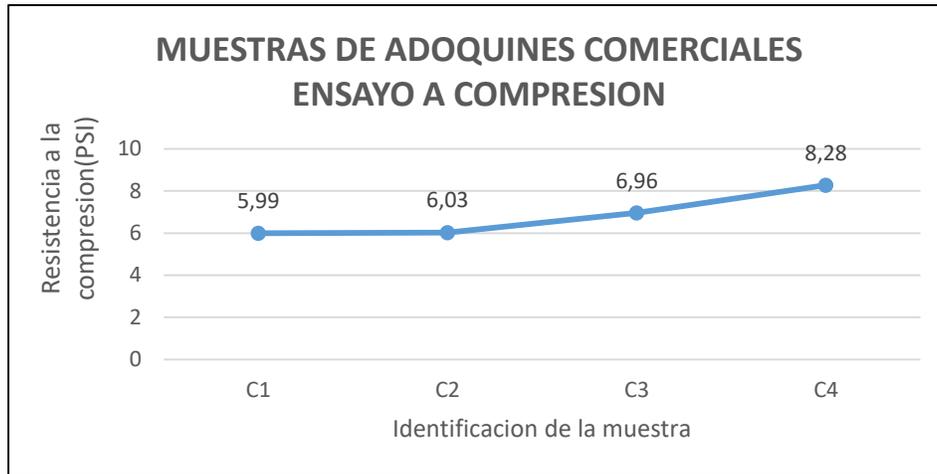
Fuente: Propia

DONDE:

- C5 y C6: son adoquines de mortero mezclado con el 20% cascarilla de arroz cruda
- C7: aduqín de mortero mezclado con el 20% de ceniza de cascarilla de arroz

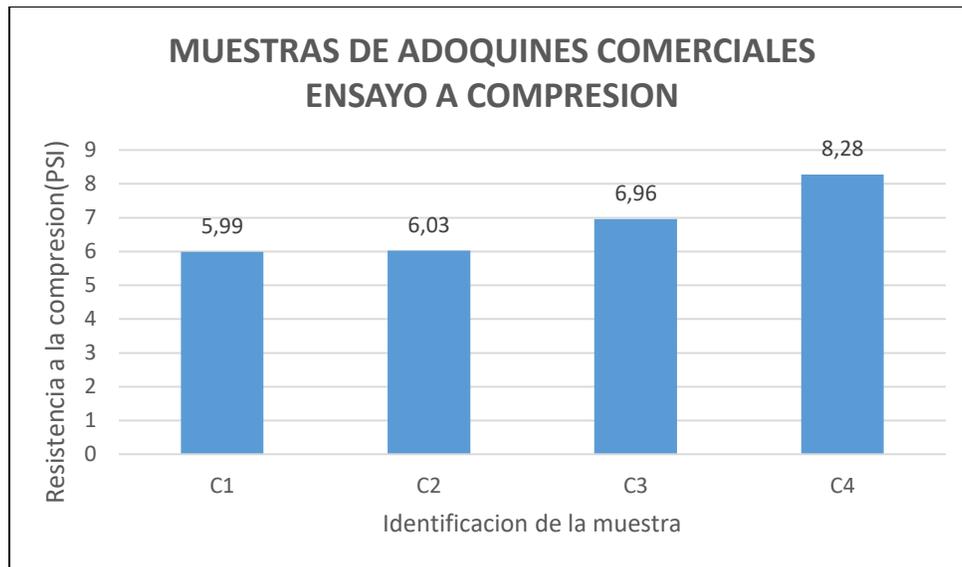
### 6.5.3 GRAFICAS RESULTADOS ENSAYOS A COMPRESION

**Grafica 17. Resultados ensayo a compresión de adoquines comerciales (Grafico de líneas).**



**Fuente: Propia**

**Grafica 18. Resultados ensayo a compresión de adoquines comerciales (Grafico de barras).**

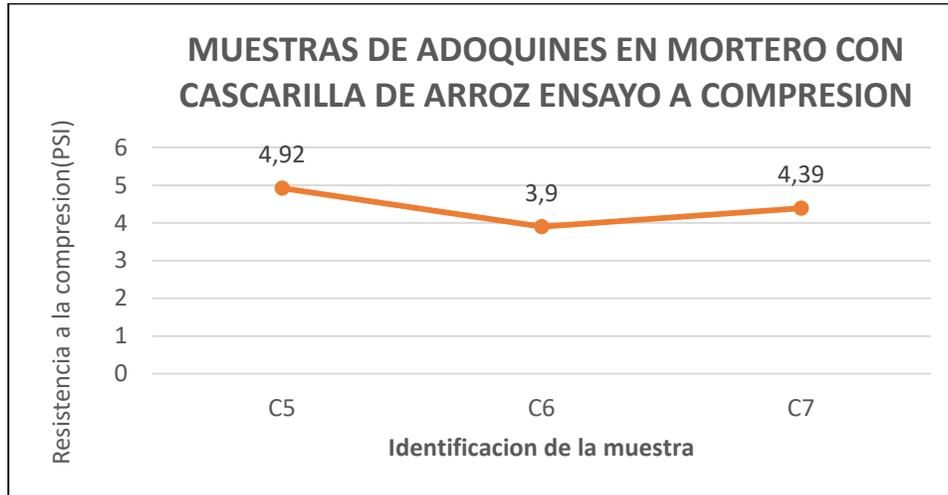


**Fuente: Propia**

DONDE:

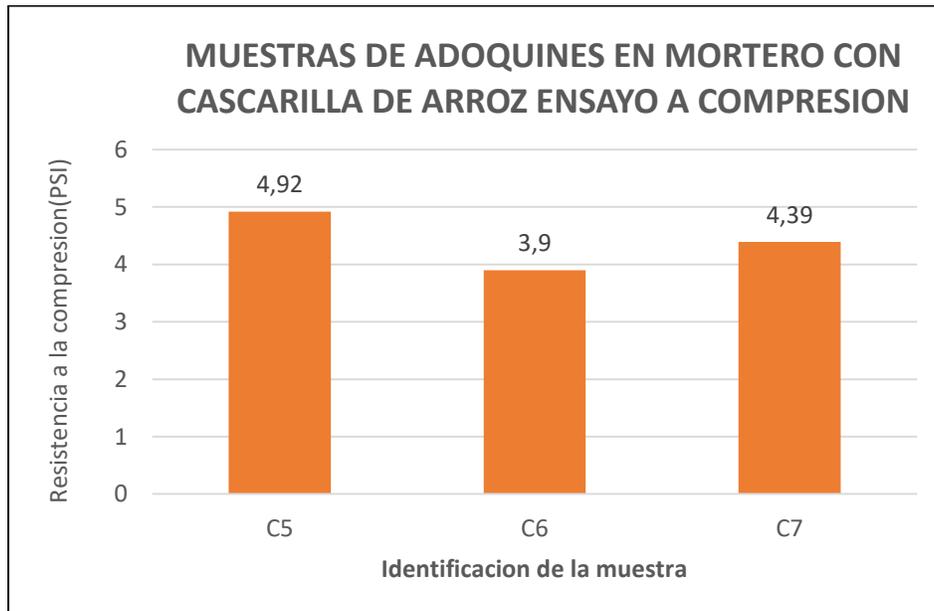
- C1 Y C2: son adoquines comerciales de mortero
- C3 Y C4: son adoquines comerciales de arcilla

**Grafica 19. Resultados ensayo a compresión de adoquines de mortero con cascarilla de arroz (Grafico de líneas).**



Fuente: Propia

**Grafica 20. Resultados ensayo a compresión de adoquines de mortero con cascarilla de arroz (Grafico de barras).**



Fuente: Propia

DONDE:

- C5 y C6: son adoquines de mortero mezclado con el 20% cascarilla de arroz cruda
- C7: aduqín de mortero mezclado con el 20% de ceniza de cascarilla de arroz

#### 6.5.4 ANALISIS GENERAL RESULTADOS EDYCONS

En los resultados obtenidos del laboratorio certificado Edyconst se puede observar que en el módulo de rotura de los adoquines de mortero con un 20% de cascarilla de arroz cruda C5 y C6 arrojan un resultado por debajo de los comerciales, teniendo en cuenta que estos prototipos tenían 45 días de fraguado, es decir ya debían haber adquirido su resistencia a la flexión máxima. Contrario a esto el adoquín de mortero mezclado con ceniza de cascarilla de arroz arrojó un resultado posiblemente favorable ya que su módulo de rotura fue de 6,1 Mpa es decir el mismo resultado obtenido con los adoquines de mortero comerciales, este con la característica de solo 20 días de fraguado, por lo tanto existe la probabilidad de que a sus 45 días obtenga su resistencia a la flexión máxima y pueda superar el módulo de rotura de los adoquines comerciales.

Respecto a los resultados de la resistencia a la compresión se puede analizar que los adoquines de mortero con un 20% cascarilla de arroz cruda C5 y C6 arrojaron resultados menos favorables en la aplicación de este ensayo ya que están por debajo del 85% del resultado ideal resaltando que también cumplieron su máxima resistencia con 45 días de fraguado. Pero resaltando que el adoquín de mortero con el 20% de ceniza de cascarilla de arroz arrojó un resultado de 639,92 PSI con 20 días de fraguado lo cual hay probabilidad que a sus 45 días que cumpla la resistencia máxima pueda obtenerse un resultado mayor al de los adoquines comerciales.

## 7. DISCUSION DE RESULTADOS

- Los ensayos realizados han permitido identificar las propiedades físico-mecánicas de tres unidades de ladrillos como su resistencia, porcentaje de absorción y módulo de rotura, de acuerdo a los resultados se puede establecer que cada ladrillo posee características diferentes y estos se pueden clasificar según su uso en tres tipos. De las muestras ensayadas la numero 3 es la que cumple con los requisitos de compresión y absorción dados en las NTC 3829 ADOQUIN DE ARCILLA PARA TRANSITO PEATONAL Y VEHICULAR LIVIANO, por lo tanto esta muestra es de tipo II y se le puede dar uso en lugares tales como tiendas y calzadas exteriores.
- Podemos concluir que la muestra de mortero con cascarilla de arroz a los siete días de curado arrojó un módulo de rotura de 2,07Mpa, es decir una resistencia a la flexión mayor que la de la muestra dos de los bloques comerciales ya que de ese se obtuvo un resultado de 1,39Mpa. Esta comparación es favorable ya que se puede llegar a tener a los 28 días de curado una resistencia a la flexión mayor y por ende dando afirmación a las teorías dichas en otros países.
- Según los resultados obtenidos en las gráficas podemos observar que en ambos procesos de curado se presenta una disminución de la resistencia a la flexión muy notable.
- Se obtuvo solo un resultado favorable que fue el bloque de los siete días curado en agua, ya que alcanzó una resistencia a la flexión mayor que uno de los bloques comerciales fallados anteriormente.

- Se observa que el proceso de curado en ambiente es más factible para lograr una resistencia a la flexión mayor ya que con el curado en agua no se obtuvieron los resultados deseados, debido a la alta capacidad de absorción que posee la cascarilla de arroz en estado puro.
- Con los ensayos realizados a los adoquines con cascarilla de arroz pura en porcentajes de 15, 20 y 30% se puede determinar que las propiedades mecánicas del adoquín disminuyen después de subir del 20%, por lo cual se debe manejar porcentajes hasta ese rango.
- Debido a lo planteado anteriormente para la fabricación de los adoquines en mortero con ceniza de cascarilla de arroz solo se optó por sustituir un 20% de ceniza en el cemento para obtener resultados favorables y que la sustitución del cemento sea considerable, ya que un porcentaje menor es irrelevante.
- En total se elaboraron 48 adoquines en mortero con cascarilla de arroz cruda y en ceniza durante la ejecución de todo el proyecto.

## 8. CONCLUSIONES

- La aplicación de los ensayos a flexión y compresión a los adoquines tradicionales (comerciales) y adoquines mezclados con cascarilla de arroz cruda o ceniza se realizaron bajo las especificaciones y parámetros dados en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 METODO PARA MUESTREOS Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERIA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA. Los resultados obtenidos en cada ensayo variaron respecto al porcentaje de cascarilla de arroz agregada, si esta era cruda o en ceniza y de acuerdo al tiempo de curado fuese en agua o al aire en temperatura ambiente. Por lo tanto los resultados máximos utilizados para la comparación fueron los siguientes:

<b>TIPO DE ADOQUIN</b>	<b>MODULO DE ROTURA MAXIMO (MPa)</b>	<b>RESISTENCIA A COMPRESION MAXIMA (N/Cm2)</b>
Adoquines comerciales	8,02	240,366
Adoquín 20% C.A Cruda-Curado agua	3,62	76,33
Adoquín 20% C.A Cruda-Curado ambiente	0,41	63,41
Adoquín 30% C.A Cruda-Curado agua	3,1	51,33
Adoquín 20% C.A Ceniza-Curado agua	2,67	81,66
Adoquín 20% C.A Ceniza-curado ambiente	3,51	146,66
Adoquín 20% C.A Ceniza-curado ambiente- Fallado Edyconst	6,1	440,575

Resultados de los cuales se puede concluir que los adoquines en mortero mezclados con un 20 y 30% de cascarilla de arroz curados en agua y ambiente durante 28 días no arrojaron resultados favorables ya que estos estuvieron por debajo de los resultados obtenidos de los adoquines comerciales. Analizando los resultados de los adoquines en mortero mezclados con un 20% de ceniza de cascarilla de arroz se concluye que estos si cumplirían con las propiedades mecánicas que caracterizan a los adoquines comerciales.

- Después de realizados los ensayos de flexión y compresión a los 48 prototipos de adoquines elaborados, se define que el porcentaje óptimo de cascarilla de arroz en ceniza es de un 20% para un mortero con dosificación 1:3, es decir que de la cantidad de cemento a utilizar en la mezcla el 20% de este material se puede sustituir por ceniza de cascarilla de arroz.
- El costo de un adoquín tradicional en arcilla puede variar entre \$300 a \$800 y en mortero entre \$600 a \$1000 esto dependiendo del lugar de la compra, tamaño y otras características. Realizando un presupuesto de los materiales invertidos en el proyecto y proceso de elaboración de los adoquines en mortero mezclados con cascarilla de arroz se define que su precio es de \$924, con unas dimensiones de Longitud 24Cm, Ancho 10Cm y Alto 7Cm para uso en mampostería no estructural.

## 9. RECOMENDACIONES

- Si los adoquines al momento del desencofre presentan fisuras o grietas es necesario volver a hacerlos, ya que esto influye en los resultados de los ensayos mecánicos aplicados para determinar el módulo de rotura y resistencia a la compresión del adoquín, al igual que se debe cumplir con el debido proceso de fraguado para que no se desboronen y un el respectivo proceso de curado para que los adoquines adquieran las propiedades mecánicas adecuadas.
- La cascarilla de arroz empleada para la elaboración de los bloques debe cumplir el respectivo proceso de secado al sol ya que esta es un componente orgánico el cual posee un gran contenido de humedad que al momento del diseño de mezcla, de fraguado y curado puede afectar las propiedades mecánicas del adoquín.
- Los equipos empleados para la ejecución de los ensayos a flexión y compresión deben estar debidamente calibrados y certificados para que los resultados que se obtengan sean plenamente confiables.
- Se deja abierta la posibilidad de realizar otras investigaciones y estudios que puedan
- determinar otras características físico-mecánicas como durabilidad, transferencia de calor, etc de estos prototipos de adoquines elaborados.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrés Mafla. (2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *Inventum* No.6, 74-78. Recuperado de: <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/viewFile/47/46>
- Agustin Valverde. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica* No. 37, 255-260. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/segundocorreamorán/cascarilla-de-arroz>
- Franco Zunino. (2012). Evaluación del desempeño de hormigones con ceniza de cascarilla de arroz como material cementicio suplementario. *Avances*, 62-66. Recuperado de: <http://ipre.investigacion.ing.uc.cl/?p=1170>
- Psetizki Verónica. (30 abril de 2010). Cáscara de arroz para levantar casas. Periódico BBC. Recuperado de: [https://www.bbc.com/mundo/ciencia\\_tecnologia/2010/04/100429\\_reciclaje\\_construccion\\_uruguay\\_mes](https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/04/100429_reciclaje_construccion_uruguay_mes)
- Bizzotto, M., Natalini, B. y Gómez, G. (1998). Mini hormigones con cascarilla de arroz natural y tratado como agregado granular. *Estabilidad*, 1-2. Recuperado de: [http://ing.unne.edu.ar/revista/noviembre/ARANDU\\_BIZZOTTO.PDF](http://ing.unne.edu.ar/revista/noviembre/ARANDU_BIZZOTTO.PDF)

- Silvio Delvasto. (2010). Con cascarilla de arroz se hacen concretos de alta resistencia. *Agencia Universitaria de Periodismo Científico*. Recuperado de: <http://aupec.univalle.edu.co/AUPEC/anteriores/arroz.html>
- Calderón, F. (2002), La cascarilla de arroz "caolinizada"; una alternativa para mejorar la retención de humedad como sustrato para cultivos hidropónicos. Recuperado de: [http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla\\_Caolinizada/La\\_Cascarilla\\_Caolinizada.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Cascarilla_Caolinizada/La_Cascarilla_Caolinizada.htm)
- Galeano, M., Becerra, L. y Vásquez, M. (2015). La ceniza de cascarilla de arroz y su efecto en adhesivos tipo mortero. *Avances*, 1-10. Recuperado de: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9848/4.1%20Articulo%20Cientifico%20Revista%20AVANCES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Serrano, T., Borrero, M., Monzó J. y Payá J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Dyna*. 79 (175), 128-136.
- Vargas, J. y Alvarado, P. (2013). Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista Científica* Vol. 23, 87-102.
- Sierra, A. J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. (Monografía) Recuperado de: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/211/2/333.794S571.pdf>

- Ordoñez, M. K. y Villanueva, L.L. (2012). *Elaboración de bloques de mortero tipo estructural mediante secado natural empleando la calamina procedente de tenaris tubo caribe s.a. como aditivo.* (Tesis Doctorado) Recuperado de: [http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/1597/1/Elaboraci%C3%B3n%20de%20bloques%20de%20mortero\\_Kelly%20Johanna%20Ordo%C3%B1ez%20Mej%C3%ADa\\_USBC\\_TG\\_2012.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/1597/1/Elaboraci%C3%B3n%20de%20bloques%20de%20mortero_Kelly%20Johanna%20Ordo%C3%B1ez%20Mej%C3%ADa_USBC_TG_2012.pdf)
- Álvarez, G. L. y Ardila, P. A. (2011). *La cascarilla de arroz como material de agregado en la producción de prefabricados de mortero seco utilizados en el aligeramiento de losas de concreto.* (Monografía). Recuperado de: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000178.pdf>
- Bohórquez Carolina. (09 marzo de 2005). Científicos que convierten cáscara de arroz en concreto. Periódico El Tiempo. Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1627010>.
- Norma Técnica Colombiana, NTC 4017 METODO PARA MUESTREOS Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERIA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA.
- Norma Técnica Colombiana, NTC 4026 UNIDADES DE CONCRETO PARA MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL.



## Anexo B. PRESUPUESTO GENERAL

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS				
PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO				
PROPUESTA PARA LA FABRICACION DE ADOQUINES EN MORTERO MEZCLADOS CON CASCARILLA DE ARROZ PARA USO EN LA CONSTRUCCION DE LA CIUDAD DE GIRARDOT EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA				
ESTUDIANTES: YENNIFER RESTREPO RAMOS- JOSE AYA RODRIGUEZ				
MATERIAL U OTRO CONCEPTO	UND	CAN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Cemento	Kg	33	\$ 600	\$ 26.400
Arena	Kg	132	\$ 175	\$ 23.100
Cascarilla de arroz	Bulto	2	\$ 2.000	\$ 4.000
Agua	Lt	24	-	-
Moldes	Und	5	\$ 5.000	\$ 25.000
Transporte	-	-	-	\$ 20.000
Papelería	-	-	-	\$ 40.000
Otros	-	-	-	\$ 50.000,00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 188.500</b>

**Anexo C. Análisis de Precios Unitarios (APU)**

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
<b>FECHA :</b>	02/12/2018			<b>UNIDAD</b>
<b>PROYECTO:</b>	PROPUESTA PARA LA FABRICACION DE ADOQUINES CON MORTERO MEZCLADOS CON CASCARILLA DE ARROZ PARA USO EN LA CONTRUCCION EN LA CIUDAD DE GIRARDOT DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA			General
<b>ACTIVIDAD:</b>	Fabricacion unidad adoquin			
MATERIAL	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
CEMENTO	KG	0,70	\$ 600,00	\$ 420,00
ARENA	KG	2,75	\$ 175,00	\$ 481,25
CASCARILLA DE ARROZ	KG	0,18	\$ 130,00	\$ 22,75
AGUA	LT			\$ -
MOLDE	UN			\$ -
			Subtotal	\$ 924,00
			Vr. Materiales	\$ 924,00
HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
			Vr. Herr y Eq.	\$ -
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	VR. CUAD.	VR. PARCIAL
			Vr. Mano de Obra	\$ -
TRANSPORTE				
			Vr. Transporte	\$ -
<b>TOTAL ITEM COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 924,00</b>

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
FECHA :	02/12/2018			UNIDAD
PROYECTO:	PROPUESTA PARA LA FABRICACION DE ADOQUINES CON MORTERO MEZCLADOS CON CASCARILLA DE ARROZ PARA USO EN LA CONTRUCCION EN LA CIUDAD DE GIRARDOT DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA			General
ACTIVIDAD:	Fabricacion unidad adoquin			
MATERIAL	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
CEMENTO	KG	0,70	\$ 600,00	\$ 420,00
ARENA	KG	2,75	\$ 175,00	\$ 481,25
CASCARILLA DE ARROZ	KG	0,18	\$ 100,00	\$ 17,50
AGUA	LT	0,50		\$ -
MOLDE	UN	1,00	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
			Subtotal	\$ 2.118,75
			Vr. Materiales	\$ 2.118,75
HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
			Vr. Herr y Eq.	\$ -
MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	VR. CUAD.	VR. PARCIAL
			Vr. Mano de Obra	\$ -
TRANSPORTE				
			Vr. Transporte	\$ -
<b>TOTAL ITEM COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 2.118,75</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

<b>FECHA :</b>	02/12/2018	<b>UNIDAD</b>
<b>PROYECTO:</b>	PROPUESTA PARA LA FABRICACION DE ADOQUINES CON MORTERO MEZCLADOS CON CASCARILLA DE ARROZ PARA USO EN LA CONTRUCCION EN LA CIUDAD DE GIRARDOT DEPARTAMENTO DE GUNDINAMARCA	General
<b>ACTIVIDAD:</b>	Cascarilla de arroz en ceniza	

MATERIAL	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
LEÑA (TRONCO)	UNI	1,00	\$ 100,00	\$ 100,00
CASCARILLA DE ARROZ	KG	0,18	\$ 175,00	\$ 30,63
LAMINA DE ZINC	M2	1,00	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
				\$ -
				\$ -
			Subtotal	\$ 1.130,63
			Vr. Materiales	\$ 1.130,63

HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
			Vr. Herr y Eq.	\$ -

MANO DE OBRA	UNIDAD	REND.	VR. CUAD.	VR. PARCIAL
			Vr. Mano de Obra	\$ -

TRANSPORTE	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT.	VR. PARCIAL
			Vr. Transporte	\$ -

<b>TOTAL ITEM COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 1.130,63</b>
---------------------------------	--	--	--	--------------------

**Anexo D. Registro Fotográfico**



**Foto1. Cascarilla de arroz pura**



**Foto 2. Molde para adoquines**



**Foto 3. Materiales para la mezcla de mortero con cascarilla de arroz pura.**



**Foto 4. Proceso de mezclado de los materiales.**



**Foto 5. Fundida de adoquines.**



**Foto 6. Adoquines fundidos.**



**Foto 7. Adoquín de mortero con cascarilla de arroz pura desencofrado.**



**Foto 8. Ensayo a flexión aplicado a adoquín de mortero con C.A**



**Foto 9. Ensayo a flexión aplicado a adoquín de mortero con C.A curado en agua.**



**Foto 10. Falla de Ensayo a flexión aplicado a adoquín de mortero con C.A**



**Foto 11. Medición plano de Falla de Ensayo a flexión aplicado a adoquín de mortero con C.A**



**Foto 12. Falla de Ensayo a compresión aplicado a adoquín de mortero con C.A**



**Foto 13. Adoquín de mortero con cascarilla de arroz curado al ambiente**



**Foto 14. Falla de ensayo a flexión Adoquín de mortero con cascarilla de arroz curado al ambiente**



**Foto 15. Materiales para la mezcla de mortero con ceniza de cascarilla de arroz.**



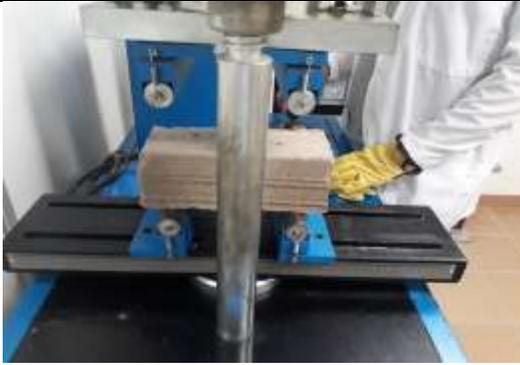
**Foto 16. Proceso de mezclado de los materiales.**



**Foto 17. Fundida de adoquines.**



**Foto 18. Adoquín de mortero mezclado con ceniza de cascarilla de arroz**



**Foto 19. Ensayo a Flexión adoquín de mortero con ceniza de C.A**



**Foto 20. Ensayo a compresión adoquín de motero con ceniza de C.A**



**Foto 21. Bloques y adoquines enviados a fallar en laboratorio Edyconst**



**Foto 22. Adoquín fallado a flexión en laboratorio Edyconst**



**Foto 23. Adoquines y bloques fallados a flexión en laboratorio Edyconst**



**Foto 24. Adoquines y bloques fallados a compresión en laboratorio Edyconst**