

**Estudio del uso de la ceniza de cascarilla de arroz para la fabricación de pre-losas no
estructurales**

Luz Mardary Garnica Monsalve

Vivian Helena Castro Godoy

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Alvaro Viviescas Jaimes

Ph.D. en Estructuras

Codirector del proyecto:

Angelica Corzo Hernandez

MsC. en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

A **DIOS** por siempre estar en cada paso que doy en mi vida, por ser el quien me llena de sabiduría, de paciencia y de mucha constancia para alcanzar este título de ingeniera civil.

A **mis hermanos** quienes me incentivan a ser mejor persona día a día, gracias a ellos por su constante apoyo incondicional durante este paso en la Universidad, resaltando a mi madre Myriam y hermana Sandra Liliana por su esfuerzo y amor que nunca dudaron de mis capacidades y siempre fueron mi gran motivación para salir adelante en esta etapa de mi vida.

A **mis compañeros** quienes me acompañaron durante mi transcurso estudiantil y todas aquellas personas que hicieron parte y aportaron un granito de arena para alcanzar este logro.

Vivian Helena Castro Godoy

Dedicatoria

A **Dios** por haberme dado la vida, por acompañarme en cada paso que he dado y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación como ingeniera civil.

A **mis padres** Luz Marina Monsalve y Miguel Darío Garnica quienes con su amor y esfuerzo han logrado formarme con buenos valores y principios que me han servido para enfrentar de la mejor manera mi día a día, Gracias a ellos por apoyarme durante cada etapa de mi vida incluyendo, esta que acaba de culminar.

A **mi compañero de vida** Martin Cabarcas, quien me ha regalado el motivo más grande para salir adelante como una buena profesional mi hija Danna Isabella, Pero sobre todo por compartir momentos de alegría, dificultad y demostrarme que siempre podré contar con él.

Por ultimo a **mis compañeros** y amigos que me acompañaron en mis procesos académicos y que de una u otra manera aportaron en esta trayectoria.

Luz Mardary Garnica Monsalve

Agradecimientos

Los autores agradecen la compañía durante el desarrollo de la tesis de investigación al director de proyecto Álvaro Viviescas Jaimes por su orientación y confianza durante este proceso. A la empresa de concretos PREVESA S.A.S, quienes facilitaron el material granular de forma gratuita. A Jairo Hernández quien hace parte del laboratorio de Caracterización de Materiales de la UIS el cual fue un constante apoyo durante el transcurso del mismo. A el laboratorio de Aceros de la escuela de ingeniería metalúrgica de la UIS, el laboratorio de Microscopia del parque tecnológico Guatigurá de la Universidad Industrial de Santander, al laboratorio de la escuela de Ingeniería Química de la UIS, y a todo el personal que aportó sus conocimientos haciendo posible la ejecución de esta investigación.

Contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Objetivos	16
1.1. Objetivo general.....	16
1.2. Objetivos específicos	16
2. Alcance del proyecto de grado	17
3. Marco Teórico	17
3.1 Cascarilla de Arroz	17
3.2 Prelosas	18
3.2.1 Características de prelosas	19
3.3 Silicio	20
3.4 Ensayo a la Flexión del concreto	21
3.4.1 Procedimiento	22
3.4.2 Medición de las probetas después del ensayo.....	22
3.4.3 Cálculos.....	23
3.5 Ensayo de resistencia a la compresión del concreto	24
3.5.1 Ensayos	25
3.5.2 Cálculos.....	26
4. Metodología.....	27

4.1 Materiales.....	29
4.2 Procedimiento	30
4.2.1 Caracterización de Materiales.....	30
4.2.2 Elaboración de Especímenes.....	35
5. Resultados y Análisis estadístico de datos	36
5.1 Granulometría agregado fino y grueso	36
5.1.1 Gravedades específicas y masa unitaria.....	37
5.2 Resistencia a compresión.....	39
5.3 Resistencia a flexión	40
5.4 Análisis de la microestructura de las muestras ensayadas, por medio de microscopía electrónica Scanning Electron Microscopy (SEM).....	41
5.5 Análisis de costos en el diseño de mezcla convencional y sustitución del 10% CCA para la elaboración de pre-losas no estructurales.	44
6. Conclusiones.....	46
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices	52

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Cascarilla de arroz. (18Ju).....	18
Figura 2. Prelosas, tablero para puentes.....	20
Figura 3. Ensayo a flexión	22
Figura 4. Ensayo de resistencia a compresión	25
Figura 5. Material granular	29
Figura 6. Muestra de impurezas orgánicas en agregado fino.....	30
Figura 7. Ceniza de cascarilla de arroz (CCA)	30
Figura 8. Espectro de CCA Vs Ceniza de escoria de alto horno puzolánica	33
Figura 9. Espectro ceniza de cascarilla de arroz	34
Figura 10. Granulometría agregado fino y grueso	37
Figura 11. Resistencia a compresión a los 7,14, y 28 días de fraguado de las sustituciones de 10, 15 y 20% CCA	40
Figura 12. Resistencia a flexión a los 14 y 28 días de fraguado de las sustituciones de 10, 15, y 20%	41
Figura 13. Microscopio electrónico de barrido SEM.....	42
Figura 14. Morfología de las muestras de concreto en las diferentes dosificaciones	43
Figura 15. Espectro de sustancias presentes en las muestras de concreto en las diferentes dosificaciones.....	44

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Tolerancias de tiempo para rompimiento de las probetas.....	26
Tabla 2. Factor de corrección longitud diámetro	26
Tabla 3. Ensayos de la NTC para el agregado fino y grueso.....	31
Tabla 4. Granulometria CCA (NTC 77)	32
Tabla 5. Porcentaje de sílice amorfa hallada en la CCA.....	34
Tabla 6. Composición química de la CCA	34
Tabla 7 Diseño de mezcla.....	36
Tabla 8. Gravedades específicas	38
Tabla 9. Caracterización de los agregados.....	38
Tabla 10 Costo para un metro cúbico de concreto de 25 MPa	45
Tabla 11. Costo para un metro cúbico de concreto 25 MPa con sustitución del 10% CCA.....	45

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Ensayos físicos de los agregados	52

Resumen

Título. Estudio del uso de la ceniza de cascarilla de arroz para la fabricación de pre-losas no estructurales *

Autores: Luz Mardary Garnica Monsalve
Vivian Helena Castro Godoy**

Palabras Clave: Ceniza de cascarilla de arroz (CCA), puzolana, sílice, concreto, resistencia a compresión, resistencia a flexión.

Este documento presenta los resultados del estudio de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) como material conglomerante y aligerante para el cemento portland. Este residuo agroindustrial aporta a la disminución de costos y contaminación en la producción del concreto. Su obtención se da mediante combustión a una temperatura de aproximadamente 600°C, de la cual se obtiene un alto porcentaje de sílice (SiO₂) haciéndolo apto para la utilización en las mezclas de concreto, permitiendo una mejor trabajabilidad y resistencia mecánica para estas mezclas usadas en elementos no estructurales específicamente pre-losas para la construcción de puentes. Este residuo se utiliza como sustituto parcial del cemento del cual se realizaron 9 probetas y 4 vigas por cada dosificación del 10%, 15% y 20% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), las cuales son tomadas con base a la literatura científica. Se utilizó una muestra patrón de diseño de mezcla para una resistencia a la compresión y resistencia a la flexión de 245 kg/cm² que equivale a 25 MPa. Adicionalmente se realizaron los respectivos ensayos a compresión y flexión de cada uno de estos a los 7, 14 y 28 días de fraguado respectivamente, siguiendo la normativa NTC 673 y la NTC 2871. Por último, se determinó el porcentaje más óptimo de CCA que arrojaron los ensayos realizados en cuanto a la resistencia final.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil Director Jorge Alejandro Mendoza Rizo Ph.D en Geomecánica Computacional

Abstract

Title. Study of the use of rice husk ash for the manufacture of non-structural pre-slabs *

Authors: Luz Mardary Garnica Monsalve
Vivian Helena Castro Godoy**

Key Words: Rice husk ash (RHA), puzolana, silica, concrete, resistance to the compression, resistance to the bending.

The present document expounds the results about the rice husk ash study (RHA; ceniza de cascarilla de arroz CCA in Spanish) as a binding and lightening material for Portland cement. This Agro-industrial residue contributes to the drop in costs and the contamination in the cement production. Its extraction is obtained through combustion around 600°C, of which is obtained a high percent of silica (SiO₂) making it suitable for the use in concrete mixtures, allowing for a better use and mechanic resistance for these mixtures used in unstructured parts, specifically pre-slabs for the construction of bridges. This residue is used as partial substitute of cement of which were made 9 test cylinders and 4 beams for every dosage of 10%, 15% y 20% of rice husk ash (RHA), which are taken based on scientific literature. It was used a design pattern sample of mix for a resistance to the compression and a resistance to the bending of 245 kg/cm² that is equivalent to 25 MPa. Additionally, were made the respective compression and blending tests for every one of them between the 7th, 14th and 28th days of setting respectively, according to the normative NTC 673 y NTC 2871. By last, was determined the most optimum percent of RHA generated by the test made according to the final resistance.

* Degree work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering School of Civil Engineering Director Jorge Alejandro Mendoza Rizo Ph.D in Computational Geomechanics

Introducción

En la actualidad la producción de arroz ha venido aumentando de una manera considerable en Colombia, cada vez más se genera grandes producciones de arroz alcanzando en los últimos años 2'971.975 según el censo del 2016 , toneladas de paddy verde, siendo la producción más alta en la historia del país según el censo nacional hecho por el DANE. (DANE, 2017). Esta cascarilla de arroz está siendo desechada en campos abiertos donde se realiza una quema provocando contaminación al medio ambiente a causa del dióxido de carbono (CO₂) que esta genera. Esta ceniza de cascarilla de arroz (CCA) tiene un elevado contenido de porcentaje en sílice amorfa superior al 90% lo cual resulta interesante su utilización como adición puzolánica en el hormigón basado en el cemento portland permitiendo así el reemplazo parcial del mismo. (Nelson Camargo, 2017) (Jordi Payá, 2012).

El objetivo de esta investigación es evaluar la viabilidad para la producción del concreto convencional hoy en día, utilizando subproductos industriales agrícolas como lo es la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) sin afectar ninguna de las propiedades mecánicas y características físicas de este.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica y económica del uso de la ceniza de la cascarilla de arroz como sustituto del cemento en la fabricación de pre-losas no estructurales.

1.2. Objetivos específicos

- Identificar los porcentajes de dosificación recomendados en la literatura científica de la ceniza de cascarilla de arroz como sustituto parcial del cemento portland tradicional, que permita obtener elementos no estructurales.
- Diseñar las muestras de los ensayos con tres porciones mínimas diferentes de ceniza de cascarilla de arroz en el cual se pueda evidenciar la tendencia de los resultados obtenidos, para caracterizar las resistencias a compresión y a flexión del concreto estudiado.
- Ensayar los cilindros y las vigas para caracterizar las propiedades mecánicas (compresión y flexión) de acuerdo a las Normas Técnicas Colombianas.
- Comparar los costos de fabricación de las pre losas con concreto convencional y con la dosificación más adecuada del sustituto de la ceniza de cascarilla de arroz.

2. Alcance del proyecto de grado

- No se enfocara en el estudio de las propiedades de la cascarilla de arroz. Se tomara los valores de dosificación recomendados de la literatura científica disponible.
- Solamente se dirige el estudio a los elementos no estructurales, específicamente las pre-losas.

3. Marco Teórico

3.1 Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto agro-industrial que se produce en altos volúmenes en zonas donde se siembra y se procesa la planta de arroz, está se constituye por cuatro componentes principales que son: **El germen**, este da lugar al crecimiento del grano, es la parte más rica en nutrientes, ácidos grasos, aminoácidos y enzimas. **El endospermo**, representa alrededor del 70% del volumen del grano. **La cutícula**, alcanza un 6.8% en volumen en el grano de arroz. **La cáscara**, constituye aproximadamente el 20% en peso del grano. La cascarilla de arroz está compuesta básicamente por sílice amorfa, que mediante un proceso térmico se puede obtener con un grado de pureza significativo en forma de ceniza tratando de darle un aprovechamiento y valor agregado,

este contiene un porcentaje de sílice superior al 90%, lo cual la hace una potencial fuente de sílice. Las principales impurezas que contiene esta sílice son: calcio, potasio, magnesio y manganeso y como secundarios aluminio, hierro, boro y fosforo. (Nelson Camargo, 2017) (L.M:Ahumada, 2006) (Aguilar, 2009).

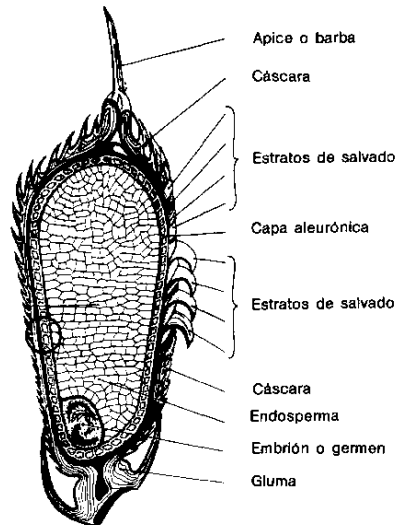


Figura 1. Cascarilla de arroz. (18Ju)

3.2 Prelosas

El Sistema de prelosas se ha utilizado en muchos lugares de Europa y otros continentes, por más de 40 años. Las tendencias en el extranjero indican que este sistema de prefabricado es un método constructivo muy utilizado en la elaboración de losas de concreto suspendidas y como encofrado o formaleta perdida. En algunos lugares de Europa, representa el 60% de todos los trabajos suspendidos, alcanzando tasas de producción de 80 millones de metros cuadrados al año. Como sistema de techo prefabricado para su aplicación a edificaciones, ofrece muchas ventajas en relación a los entrepisos que se producen en obra, a la vez conserva completamente la integridad

estructural y requisitos monolíticos de la losa. En Perú, este tipo de entrepiso ha estado en uso desde 1995, y en marzo del 2015 comercializada en viviendas por BETON DECKEN. (Betoncken, s.f.).

El Sistema BETON DECKEN utiliza una combinación de paneles de concreto prefabricado reforzado (Prelosas) de manera convencional, y un acabado hecho en obra, como un medio de construir una losa típica de concreto. El uso de concreto reforzado con acero colocado en obra, efectivamente une todos los elementos prefabricados, proveyendo de esta manera seguridad, rigidez y solidez estructural.

3.2.1 Características de prelosas

Tamaño, una prelosa es una losa de concreto prefabricada hecha en fábrica, con un ancho variable hasta 2.48 metros, y una longitud usualmente hasta 12 metros, con fines de transporte y manejo.

Grosor, el grosor de la prelosa puede ser variado y dependerá del tamaño del reforzamiento y del acabado del concreto. Para muchas aplicaciones, es suficiente un grosor nominal de 50mm.

Reforzamiento, el Refuerzo de la base embebido en la prelosa, puede consistir en una malla de acero, las varillas de los tralichos y barras adicionales de refuerzo, según lo requiera el diseñador.

Manejo, las vigas proveen fuerza y rigidez para manipularlas y trasportarlas, permiten a las prelosas resistir las cargas de construcción con un mínimo de apuntalamiento temporal, contribuyen con el acero de fondo y con el acero del techo, y pueden servir, inclusive, como sillas continuas para soportar el reforzamiento superior del techo.

Ahorro de peso, bloques de poliestireno, añadidos en la fabricación, permiten la construcción de losas aligeradas, con una significativa reducción de su peso propio (generalmente 40%).

Flexibilidad, en contraste con la mayoría de los otros sistemas de prefabricado, BETON DECKEN impone pocas restricciones a los diseñadores, porque no hay tamaños estándar para las prelosas. La longitud, ancho, grosor, geometría plana y acero de reforzamiento, pueden variar, para satisfacer los requerimientos de diseño y permitir una considerable flexibilidad al arquitecto y al ingeniero.

Nota: Las Losas pueden hacerse en cualquier tamaño y forma, al interior de los límites arriba señalados. Recortes semicirculares o rectangulares, extremos sesgados y formas irregulares pueden ser manufacturados para satisfacer requerimientos particulares de trabajo.



Figura 2. Prelosas, tablero para puentes.

Nota. Tomado de: *Misiones Online*. (Misiones Online, s.f.)

3.3 Silicio

El dióxido de silicio (SiO_2) es un compuesto de silicio y oxígeno, llamado comúnmente sílice, el cual se presenta en diversas formas cristalinas sobre la tierra, y tiene un carácter ácido por cuanto tiene la capacidad de reaccionar con óxidos básicos, como son el CaO (óxido de calcio) y el MgO

(óxido de magnesio), para formar silicatos. Es uno de los componentes principales de la arena. Una de las formas en que aparece naturalmente es en cuarzo. Este compuesto ordenado espacialmente en una red tridimensional (cristalizado), forma el cuarzo y todas sus variedades. Si se encuentra en estado amorfo constituye el ópalo y suele incluir un porcentaje del 4-9 % de agua. El dióxido de silicio se usa, entre otras cosas, para la fabricación de vidrio, cerámicas y cemento. Se considera desecante, esto significa que absorbe la humedad del lugar en que se encuentra. (A.Forero, L.A.Medrano, & S.Díaz, 2009) (Becerra, 2014).

3.4 Ensayo a la Flexión del concreto

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas de sección transversal y con luz de como mínimo 3 veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura (MR) en Megapascales (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) (Materials) A. C., 2002) o ASTM C293 (Materials) A. C., 2010) (cargada en el punto medio). (Association, Resistencia a la flexión del concreto)



Figura 3. Ensayo a flexión

3.4.1 Procedimiento El espécimen de ensayo debe cumplir todos los requisitos de la norma ASTM C42 (Materials) A. C., 2009) aplicables a especímenes de vigas y prismas, debe tener una distancia entre apoyos equivalente a tres veces su altura, con una tolerancia del 2%. Los lados del espécimen deben formar ángulo recto con la parte superior e inferior. Todas las superficies deben ser lisas y deben estar libres de asperezas, huecos o marcas de identificación grabadas. El ensayo se debe efectuar inmediatamente después de retirar los elementos del recinto húmedo, el secado superficial del espécimen produce una reducción de la resistencia a la flexión medida.

3.4.2 Medición de las probetas después del ensayo Para determinar las dimensiones de la sección transversal de la probeta para uso en el cálculo del módulo de rotura, después del ensayo se toman medidas a través de una de las caras fracturadas. Para cada dimensión, se hace una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Las tres mediciones se hacen para cada dirección, para determinar el ancho y la altura promedio. Todas las mediciones se hacen con aproximación a 1 mm (0,05 pulgadas).

Se carga el espécimen continuamente y sin impactos. La carga se debe aplicar a una tasa constante hasta el punto de rotura. La carga se aplica a una tasa que incremente en forma constante

el esfuerzo extremo de la fibra entre 0,86 MPa/min y 1,21 MPa/min (125 psi/min y 175 psi/min) hasta que ocurra rotura. La tasa de carga se calcula usando la siguiente ecuación:

$$r = Sbd^2/L \quad (1)$$

r = Tasa de aplicación de carga, MN/min, (Libra/min).

s = Tasa de incremento en el esfuerzo extremo de la fibra, MPa/min (Psi/min).

b = Ancho promedio del espécimen, mm (pulgadas).

d = Altura promedio del espécimen, mm (pulgadas).

L = Distancia entre apoyos, mm (pulgada).

Para determinar las dimensiones de la sección transversal de la probeta para uso en el cálculo del módulo de rotura, después del ensayo se toman medidas a través de una de las caras fracturadas. Para cada dimensión, se hace una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Las tres mediciones se hacen para cada dirección, para determinar el ancho y la altura promedio.

3.4.3 Cálculos

3.4.3.1 Si la fractura se inicia en la superficie sometida a tensión dentro del tercio medio de la distancia entre apoyos se calcula el módulo de rotura, como sigue:

$$R = PL/bd^2 \quad (2)$$

R = Módulo de rotura, MPa (psi).

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N, (lbf).

L = Distancia entre apoyos, mm, (pulgadas)

b = Ancho promedio de la probeta en la fractura, mm (pulgadas).

d = Altura promedio del espécimen en el lugar de la fractura, mm (pulgadas).

3.4.3.2 Si la fractura ocurre en la superficie sometida a tensión por fuera del tercio medio en la distancia entre apoyos, en no más de un 5 % de ésta, el módulo de rotura se calcula como sigue:

$$R = 3pa/bd^2 \quad (3)$$

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de la viga sometida a tensión, mm (pulgadas).

3.4.3.3 Si la fractura ocurre en la superficie sometida a tensión por fuera del tercio medio de la distancia entre apoyos, en más de un 5 % de ésta, no se debe tener en cuenta el resultado del ensayo. (Colombiana N. T., 2005).

3.5 Ensayo de resistencia a la compresión del concreto

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) en unidades corrientes utilizadas en EEUU o en megapascuales (MPa) en unidades SI. Los

requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 2.500 psi (17 MPa) para concreto residencial hasta 4.000 psi (28 MPa) y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 10.000 psi (70 MPa) y más. (Association, Prueba de Resistencia a la Compresión).



Figura 4. Ensayo de resistencia a compresión

3.5.1 Ensayos Las probetas cilíndricas para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm) o 4 x 8 pulgadas 100 x 200 mm), cuando así se especifique. Las probetas más pequeñas tienden a ser más fáciles de elaborar y manipular en campo y en laboratorio. El diámetro del cilindro utilizado debe ser como mínimo 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se emplee en el concreto. (Association, Prueba de Resistencia a la Compresión)

Los especímenes de ensayo deben ser mantenidos húmedos por cualquier método conveniente durante el período entre que se sacan del almacenamiento húmedo y el ensayo. Deben ser ensayados en la condición húmeda. Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo

dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, prescritas como sigue: (COLOMBIANA, 2010).

Tabla 1.

Tolerancias de tiempo para rompimiento de las probetas

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 h	± 0,5 h o 2,1 %
3 d	2 h o 2,8 %
7 d	6 h o 3,6 %
28 d	20 h o 3,0 %
90 d	2 d o 2,2 %

Nota. Tomado de: *NTC 673*. (Colombiana N. T., NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos de concreto, 2010).

3.5.2 Cálculos Calcule la resistencia a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo por el promedio de la sección transversal determinado y exprese el resultado a los 0,1 MPa [10 psi] más cercanos. Si la relación de longitud a diámetro del espécimen es de 1,75 o menos, corrija el resultado multiplicando por el factor de corrección apropiado mostrado en la Tabla 2.

Tabla 2.

Factor de corrección longitud diámetro

L/D:	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87

Nota. Tomado de: *NTC 673*. (Colombiana N. T., NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos de concreto, 2010).

3.5.2.1 Cuando sea requerido, calcule la densidad del espécimen a 10 kg/m³ [1 lb/ft³] más cercana como sigue:

$$Densidad = \frac{w}{v} \quad (4)$$

w = Masa del espécimen, lb [kg] y

v = Volumen del espécimen, calculado a partir del diámetro promedio y la longitud promedio o de pesar el cilindro en el aire y sumergido, ft³ [m³].

3.5.2.2 Cuando el volumen sea determinado por el peso sumergido, calcule el volumen de la siguiente manera:

$$v = \frac{w-w_s}{Y_w} \quad (5)$$

w = Masa aparente del espécimen sumergido, lb [kg] y

Y_w = densidad del agua a 73,5 °F [23 °C] = 62,27 lbs/ft³ [997,5 kg/m³]. (COLOMBIANA, 2010).

4. Metodología

Con el propósito de contribuir a la utilización de subproductos agroindustriales como lo es la ceniza de cascarilla de arroz (CCA), se realizó previamente un estudio bibliográfico donde se recopiló toda aquella información válida sobre su utilización en la construcción, siendo de interés para la disminución de contaminación y costos que genera el cemento convencional. La obtención

de esta ceniza se realiza mediante una quema en las condiciones necesarias y exigidas por parte de la literatura científica. (Nelson Camargo, 2017).

Para el ensayo a compresión se realiza un diseño de mezcla con 9 especímenes cilíndricos por cada dosificación del 10%,15% y 20% de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), incluyendo la mezcla patrón, las cuales fueron seleccionadas a partir de la literatura científica (Nelson Camargo, 2017) (Pedro E. Matthey, 2015), con dimensiones de 76.2 milímetros (mm) de diámetro por 150 milímetros (mm) de altura según la Norma Técnica Colombiana (NTC 550) (Colombiana N. T., NTC 550, Concretos. Elaboración y curdo de especímenes de concreto en obra), 2000) , para ser ensayados a los 7, 14 y 28 días de fraguado.El ensayo de falla a compresión se realiza según la NTC 673 (Colombiana N. T., NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a Compresión de espécimenes cilíndricos de concreto, 2010) en una prensa hidráulica ALFRED J. AMSLER Y CIA. SUIZA (79/191) con capacidad máxima de carga de 400 Kilonewton (KN) (Figura 4).En el ensayo a flexión se elaboran para un diseño de mezcla 4 vigas simples por cada dosificación del 10%,15% y 20% de CCA, incluyendo la mezcla patrón con dimensiones de (100x100x350) milímetros para ser ensayadas a los 14 y 28 días de fraguado. El ensayo a flexión se realiza según la NTC 2871 (Colombiana N. T., NTC 2871, Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios), 2005) en la maquina universal Material Test System (MTS) 810.318-50. USA (2007) con capacidad máxima de carga de 50 toneladas (Figura 3).

4.1 Materiales

Los materiales que se utilizan para el desarrollo del proyecto en la fabricación del concreto son: cemento, arena, grava y ceniza de cascarilla de arroz (CCA) que en este caso será sustituto parcial del cemento en diferentes dosificaciones. La cascarilla de arroz a utilizar en el proyecto proviene de la empresa Arrocería la Granja ubicada en la ciudad de Bucaramanga en la carrera 16 N° 22-42. Se utilizó un cemento tipo I de uso general de la empresa ARGOS.

Para escoger la empresa que suministro el material agregado en la ciudad de Bucaramanga se le realizó a dos de ellas el método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto según la NTC 127 (Colombiana N. T., NTC 127, Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto., 2000), esto es sustancial debido a que el material debe estar libre de impurezas orgánicas y así evitar alteraciones en la resistencia del concreto. El material más óptimo para la ejecución del proyecto de grados es el de la empresa de concretos PREVEVA S.A.S ubicada en la Calle 197 N°1 Girón-Santander.



Figura 5. Material granular



Figura 6. Muestra de impurezas orgánicas en agregado fino



Figura 7. Ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

4.2 Procedimiento

4.2.1 Caracterización de Materiales La caracterización de los materiales se realiza bajo la Norma Técnica Colombiana, donde se efectúan respectivos ensayos a cada material para determinar el estado en el que se encuentran y garantizar su calidad en la elaboración de los especímenes de concreto cumpliendo de esta manera con sus especificaciones.

La obtención de la ceniza de cascarilla de arroz se realizó mediante un proceso de incineración. Inicialmente se hizo una quema de forma tradicional para garantizar que en el momento de introducir las cenizas en las muflas no realizara contaminación alguna produciendo demasiado humo en el ambiente, se prosigue a realizar la molienda de forma manual en un mortero de porcelana para obtener mejor finura de esta, luego se realiza la quema en las muflas que fueron

facilitadas por parte del laboratorio de la escuela de ingeniería metalúrgica en la planta de aceros, en el laboratorio de procesos químicos en la escuela de ingeniería química y en el laboratorio de caracterización de materiales en el edificio Álvaro Beltrán por parte de la escuela de ingeniería civil. Las muflas se programaron a dos escalas de 300°C en un tiempo de hora y media por cada escala y permaneciendo en la primera una hora y en la última escala tres horas hasta alcanzar la temperatura de 600°C; si la temperatura es alta va eliminando por completo cualquier tipo de resto orgánico presente en la cascarilla de arroz y esto garantiza mejores resultados en la fabricación del concreto. (Nelson Camargo, 2017). La granulometría que se le practico a la CCA se realizó bajo el procedimiento descrito en la NTC 77 (Colombiana N. T., NTC 77, Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos., 2007) y los resultados se ilustran en la tabla 4.

Tabla 3.

Ensayos de la NTC para el agregado fino y grueso

MATERIAL	ENSAYOS
Material Granular FINO (Arena triturada)	NTC 92 - Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre las partículas de agregados.
	NTC 127 - Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.
	NTC 77 - Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
	NTC 237 - Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
	NTC 92 - Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre las partículas de agregados.

MATERIAL	ENSAYOS
Material Granular GRUESO (Triturado de 3/4 de pulgadas)	<p>NTC 176 - Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.</p> <p>NTC 77 - Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.</p>

Tabla 4.

Granulometria CCA (NTC 77)

Número del tamiz	Tamaño del tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
30	0,6	2,79	1,9	1,9	98,1
50	0,3	12,69	8,5	10,3	89,7
100	0,15	32,69	21,8	32,1	67,9
Fondo		102	67,9	100,0	0,0
Total		150,17			

Se tomó una muestra de 2 gramos de CCA para realizarle una prueba de infrarrojo donde se determina la cantidad de sílice amorfa que esta contiene. Las mediciones se realizaron en un espectrofotómetro infrarrojo con transformada de fourier FTIR, en el rango de 400 a 4000 cm, 1.35 escaneos a una resolución de 4, en un equipo Shimadzu, modelo FTIR tracer-100 con sistema de reflectancia total atenuada (ATR) con celda de diamante y seleniuro de zinc. En la figura 8 y tabla 5 se puede observar que el óxido de silicio se encuentra en un 77% de coincidencia en la ceniza de cascarilla de arroz con respecto a la ceniza comercial llamada escoria de alto horno puzolánica con la cual se hizo la comparación para observar el porcentaje de óxido de silicio presente en la muestra, entre más definido sean los picos del espectro mayor cantidad de sílice amorfa se halla, lo cual se corrobora con la información encontrada en la literatura científica

(L.M:Ahumada, 2006). El análisis de esta muestra se realizó en el laboratorio de la escuela de Ingeniería química.

En el laboratorio de microscopía del parque tecnológico Guatigurá se realizó un análisis donde se observa la composición química de la ceniza de cascarilla de arroz como se observa en la figura 9 y tabla 6, por medio de microscopía electrónica Scanning Electron Microscopy (SEM), la muestra se colocó sobre stubs metálicos con cinta adhesiva de carbón, se recubrieron con grafito en un equipo de recubrimiento Quorum 150ES. Las imágenes y el análisis químico se realizaron en el Microscopio Quanta Feg 650.

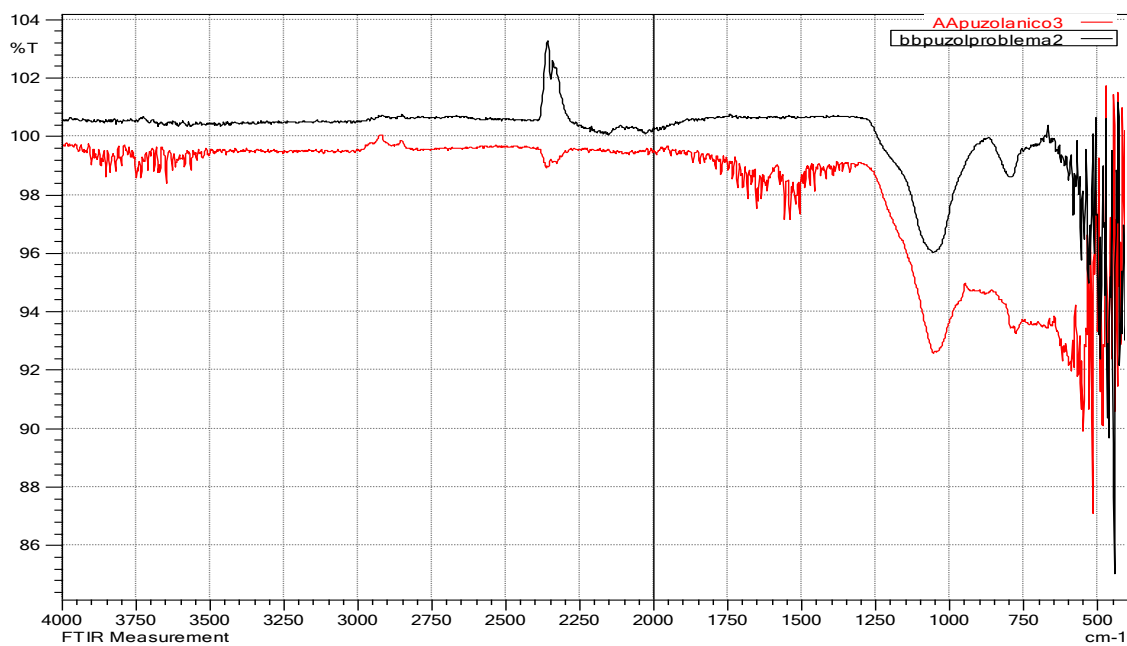


Figura 8. Espectro de CCA Vs Ceniza de escoria de alto horno puzolánica

Nota. Tomado de: Laboratorio Escuela de Ingeniería Química

Tabla 5.

Porcentaje de sílice amorfa hallada en la CCA

	Score	Library	Name	Comment
1	770	2 - ATR-Inorganic2	D_SiO2_1	Diatomaceous Earth, Granular/SiO2 DuraSampIR
2	763	1 - ATR-Inorganic2	D_SiO2_2	Silica Gel white/SiO2 DuraSampIR
3	733	5 - T-Inorganic2	Glass1	Glass Transmission
4	732	6 - T-Inorganic2	Glass2	Glass Transmission
5	731	2 - T-Inorganic2	Diatomaceous Earth	Diatomaceous Earth, Granular/SiO2 Transmission
6	708	24 - ATR-Inorganic2	D_ZnSO4	ZincSulfate/ZnSO4 7H2O DuraSampIR
7	693	1 - T-Inorganic2	Silica Gel	Silica Gel white/SiO2 Transmission
8	687	29 - T-Inorganic2	T_Na6Al6Si6O24S4	Na6Al6Si6O24S4, Transmission(Microscope), Pig No. B-29, Ultramarine, CAS No. 57455-37-5
9	684	22 - ATR-Inorganic2	D_MgSO4	MagnesiumSulfate/MgSO4 7H2O DuraSampIR
10	681	23 - ATR-Inorganic2	D_CuSO4	CupricSulfate/CuSO4 5H2O DuraSampIR
11	661	3 - T-Inorganic2	TALC	TALC/3Mg4SiO2H2O Transmission
12	629	11 - T-Inorganic2	Na3PO4	Na3PO4 12H2O Transmission
13	626	37 - T-Inorganic2	T_BiVO4	Bismuth Vanadate/BiVO4, Transmission(Microscope), Pig No. Y-184, CAS No. 14059-33-7
14	626	21 - ATR-Inorganic2	D_CaSO4	CalciumSulfate/CaSO4 2H2O DuraSampIR
15	623	33 - T-Inorganic2	T_FeO(OH)	Ferric Hydroxide Oxide/FeO(OH), Transmission(Microscope), Pig No. Y-42, Iron Oxide Yellow, CAS No. 20344-49-4

Nota. Tomado de: Laboratorio Escuela de Ingeniería Química

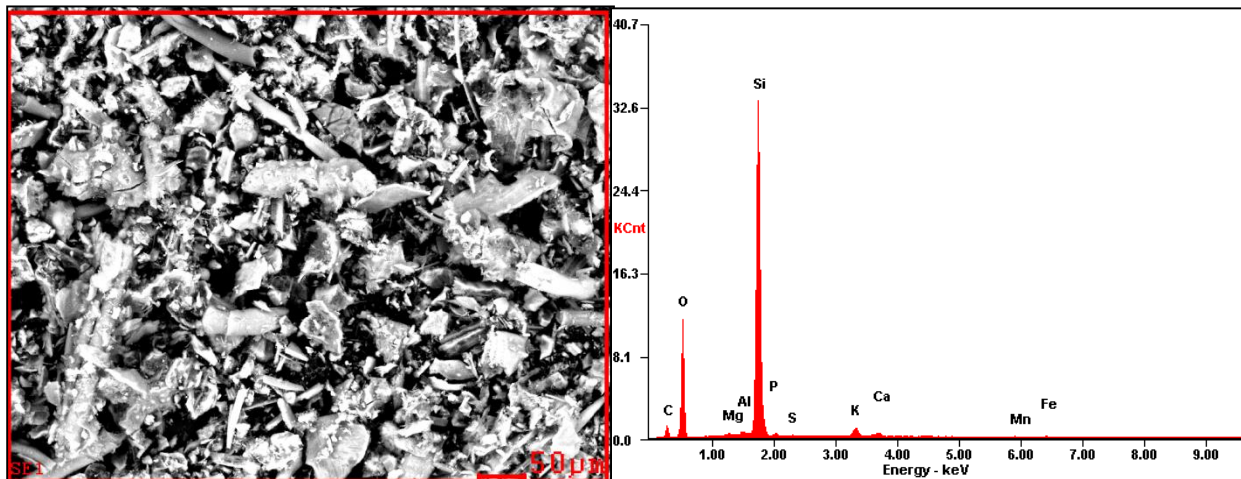


Figura 9. Espectro ceniza de cascarilla de arroz

Nota. Tomado de: Laboratorio de microscopía (Guatiguará)

Tabla 6.

Composición química de la CCA

Element	Wt%	At%
CK	13.24	20.68
OK	43.52	51.03
MgK	00.34	00.27
AlK	00.55	00.38

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>SiK</i>	38.90	25.98
<i>PK</i>	00.60	00.36
<i>SK</i>	00.15	00.09
<i>KK</i>	01.49	00.71
<i>CaK</i>	00.60	00.28
<i>MnK</i>	00.26	00.09
<i>FeK</i>	00.35	00.12
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Nota. Tomado de: Laboratorio de microscopía (Guatiguará)

4.2.2 Elaboración de Especímenes El diseño de mezcla de concreto se realizó bajo el manual de DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS POR EL METODO ACI 211 (American Concrete Institute) (Institute, 1998) para una resistencia máxima de 25 MPa. Las cantidades de los materiales fueron calculadas en peso. Se tuvo en cuenta todos aquellos parámetros descritos en la Norma Técnica Colombiana, como lo es la relación agua cemento (a/c), la densidad de los agregados (Gruesos, finos) y el asentamiento preciso que se requiere para obtener una consistencia ideal en la mezcla de concreto.

Después de tener el diseño de mezcla de concreto se procede a la elaboración de los especímenes. Se efectúa el ensayo de la NTC 396 (Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto) (Colombiana N. T., NTC 396, Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto., 1992), más conocido como el ensayo del SLUMP, este se realiza a la mezcla patrón y a las diferentes dosificaciones de CCA para evidenciar la consistencia de la mezcla de concreto. La mezcla se diseñó para un slump de 8 pulgadas buscando obtener mejor consistencia y manejabilidad, los valores arrojados en el ensayo del slump realizado a cada mezcla oscilan entre 2 y 10 pulgadas. Se procede a fundir las probetas y vigas, las cuales se ensayan en un tiempo de

fraguado de 7,14 y 28 días. Los ensayos a los especímenes se realizan teniendo en cuenta la NTC 673 y NTC 2871. (Colombiana N. T., NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a Compresión de espécimenes cilíndricos de concreto, 2010) (Colombiana N. T., NTC 2871, Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios), 2005).

Tabla 7

Diseño de mezcla

Calculo Base 1m³			
Material	Cantidad (kg)	Densidad (kg/m³)	Litros
Cemento	425	3030	140,3
Agua	225	1000	225,3
Triturado	850	2660	319,5
Arena	816	2590	314,9
R a/c	0,53		1000

5. Resultados y Análisis estadístico de datos

5.1 Granulometría agregado fino y grueso

El ensayo se realizó bajo los parámetros descritos en la norma NTC 77 (Colombiana N. T., NTC 77, Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos., 2007), se tomó una muestra seca la cual se separa a través de una serie de tamices de aberturas

agregados., 1992) se determinó la masa unitaria o densidad volumétrica y el porcentaje de vacíos necesarios para las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto.

En la Tabla 8 y Tabla 9 se encuentran plasmados los resultados de los ensayos realizados bajo la NTC (92, 176 y 237) (Colombiana N. T., NTC 92, Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados., 1992) (Colombiana N. T., NTC 197, Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso., 1995) (Colombiana N. T., NTC 237, Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino., 1995) de los agregados finos y gruesos utilizados para la ejecución del proyecto de investigación.

Tabla 8.

Gravedades específicas

	A.FINO	A.GRUESO
REAL	2.68	2.69
APARENTE	2.53	2.64
APARENTE SSS	2.59	2.66

Tabla 9.

Caracterización de los agregados

	A.FINO	A.GRUESO
PESO UNITARIO SUELTO Kg/m^3	1306	1435
PESO UNITARIO COMPACTADO Kg/m^3	1550	1564
ABSORCIÓN %	2	1
PORCENTAJE DE VACIOS %	40	41
MODULO DE FINURA	2.6	-
TAMAÑO MÁXIMO (pulg)	-	1
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (pulg)	-	3/4

5.2 Resistencia a compresión

La resistencia a la compresión, fue determinada de acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 550 y NTC 673 (Colombiana N. T., NTC 550, Concretos. Elaboración y curdo de especímenes de concreto en obra), 2000) (Colombiana N. T., NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a Compresión de espécimenes cilíndricos de concreto, 2010). En la figura 11 se encuentra el comportamiento de dichos especímenes a los 7, 14, y 28 días de fraguado para cada uno de los porcentajes, en donde se puede evidenciar que la resistencia a la compresión en las muestras de concreto con sustitución del 10% de CCA es similar a la compresión en las muestras patrón y mayor en cuanto a las muestras con sustitución del 15% y 20%, las cuales arrojan una disminución significativa con respecto a las muestra patrón. Por lo tanto podemos llegar a la conclusión que el porcentaje óptimo para la sustitución en este diseño de mezcla es del 10% de CCA.

Por otro lado analizando el comportamiento de las mezclas con las diferentes sustituciones podemos ver que a pesar de que la sustitución del 10% de CCA es la más óptima existe una diferencia en la trabajabilidad de la mezcla con respecto a la patrón ya que se presenta una disminución en el slump de 10 a 3 pulgadas manteniendo la relación agua cemento inicial de 0.53, en cuanto a los otros porcentajes, la trabajabilidad sigue disminuyendo y el slump de igual manera, lo cual se debe a que se presenta la siguiente relación: a mayor porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz, mayor cantidad de agua para tener una mejor trabajabilidad en la mezcla.

5.3 Resistencia a flexión

Los resultados obtenidos de los especímenes ensayados a 14 y 18 días de fraguado, para los diferentes porcentajes de sustitución de CCA se encuentran en la figura 12. Según la NSR10 C 10.2.5 (Sísmica, 1810 - 2010), el módulo de rotura debe variar del 10% al 15% de la resistencia a la compresión obtenida, encontrándose así en los resultados que la resistencia a la flexión oscila entre el 10 y 15% de los resultados del ensayo a compresión cumpliendo con dicha especificación; también se puede observar que en igual caso del ensayo a compresión el porcentaje de sustitución del 10% de CCA se sigue comportando mejor con respecto a las otras dosificaciones pero no es la más óptima para el ensayo a flexión.

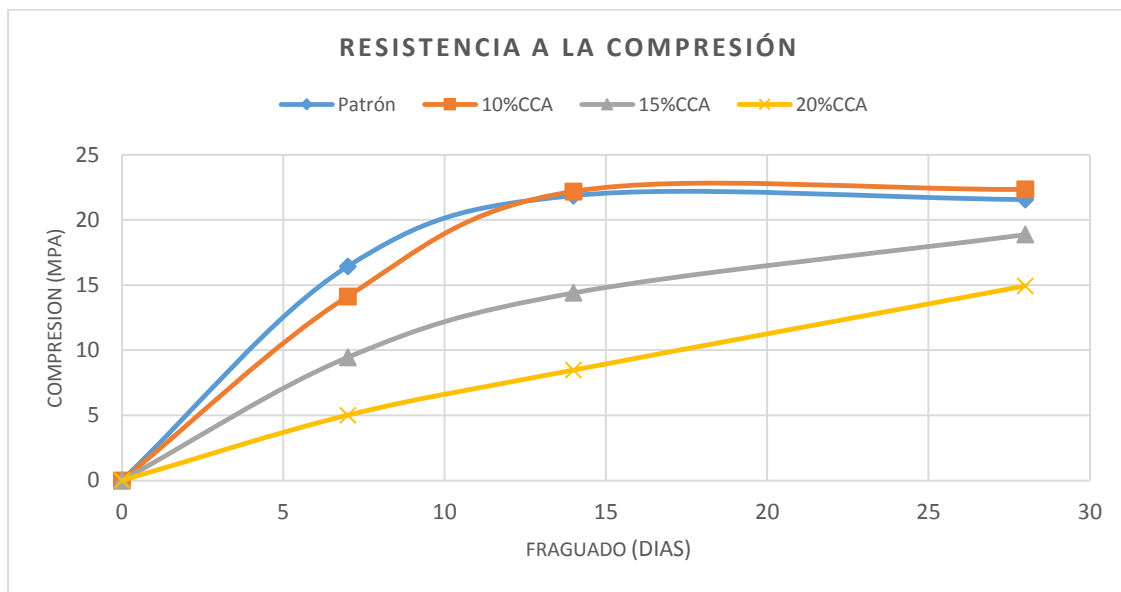


Figura 11. Resistencia a compresión a los 7,14, y 28 días de fraguado de las sustituciones de 10, 15 y 20% CCA

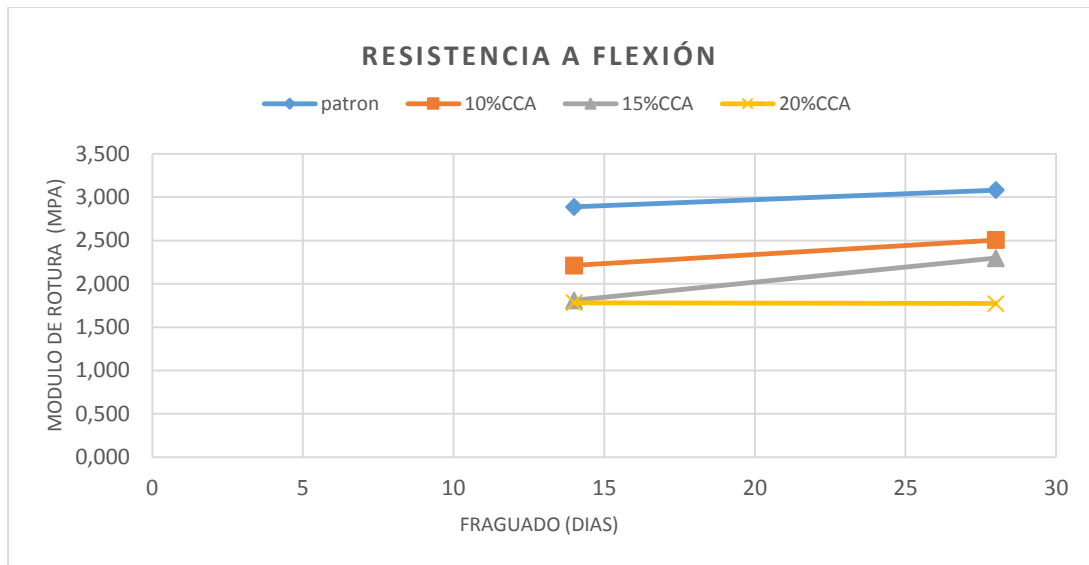


Figura 12. Resistencia a flexión a los 14 y 28 días de fraguado de las sustituciones de 10, 15, y 20%

5.4 Análisis de la microestructura de las muestras ensayadas, por medio de microscopía electrónica Scanning Electron Microscopy (SEM)

En el ensayo SEM se tomaron cuatro muestras de los especímenes ya ensayados de cada dosificación de la ceniza de cascarilla de arroz del 10%, 15%, 20% y la mezcla patrón. En la figura 14 se puede evidenciar la morfología de cada una de estas.

Las muestras se colocaron sobre stubs metálicos con cinta adhesiva de carbón y aluminio, se recubrieron con oro en un equipo de recubrimiento Quorum 150ES. La morfología y la microestructura de las muestras se estudiaron mediante un Microscopio Electrónico de Barrido FEG (Field Emission Gun).

Las imágenes y el análisis Químico se realizaron en el Microscopio Quanta FEG 650, después de que la muestra de concreto se le hace el recubrimiento de carbón, como se observa en la figura 13 estos análisis fueron realizados por Carlos Alberto Chacón en el parque tecnológico Guatiguará

de la Universidad Industrial de Santander en el laboratorio de Microscopía realizado el día 7 de julio del 2018.

Detector para imágenes: Electrones retro dispersados (BSE): back scattered electrón detector (BSED) tipo SSD. **Para Análisis Químico:** voltaje de aceleración 30Kv Detector EDAX APOLO X resolución de 126.1 eV (en. Mn K α) para realizar análisis EDS (Energy-Dispersive Spectroscopy). Software EDX Génesis. Información semi-cuantitativa de los elementos químicos.

En cada una de estas muestras se encontró presencia de otras sustancias químicas como se observa en la figura 15, evaluando no solo la presencia de sílice en los especímenes elaborados con CCA si no también la presencia de materia orgánica lo cual es notorio por la cantidad de carbono que se encuentra en ellos.

Este ensayo se realizó con el fin de evaluar la morfología de los especímenes que fueron elaborados y así comprobar la existencia no solo de la ceniza de cascarilla de arroz sino de otras sustancias presentes.



Figura 13. Microscopio electrónico de barrido SEM

Nota. Tomado de: Laboratorio microscopía (Guatiguará)

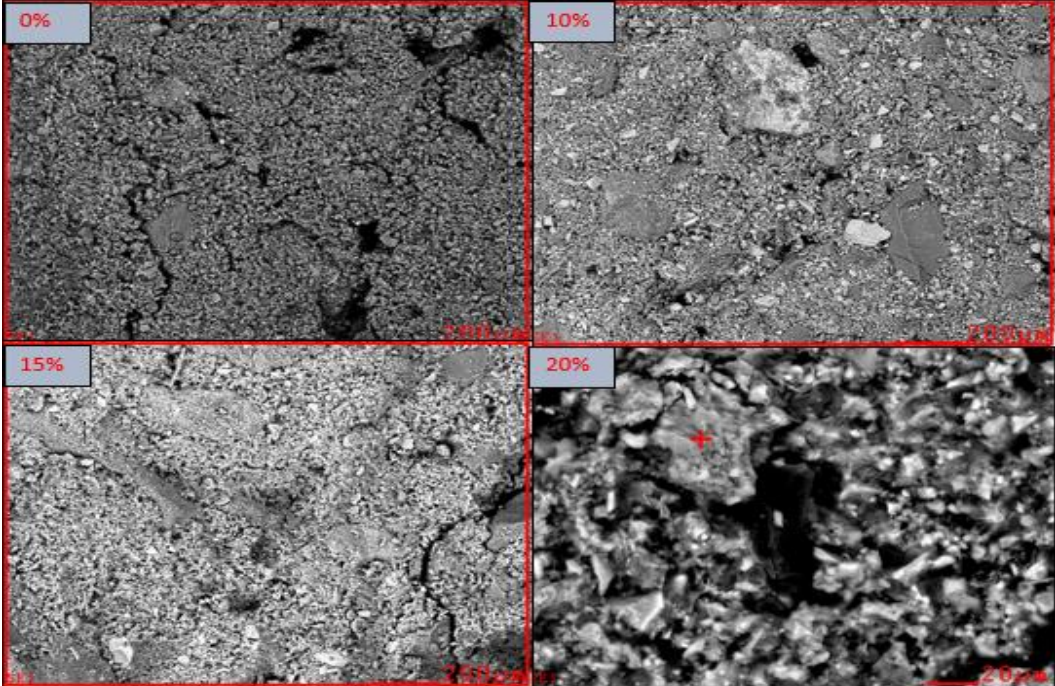


Figura 14. Morfología de las muestras de concreto en las diferentes dosificaciones

Nota. Tomado de: Laboratorio microscopía (Guatiguará)

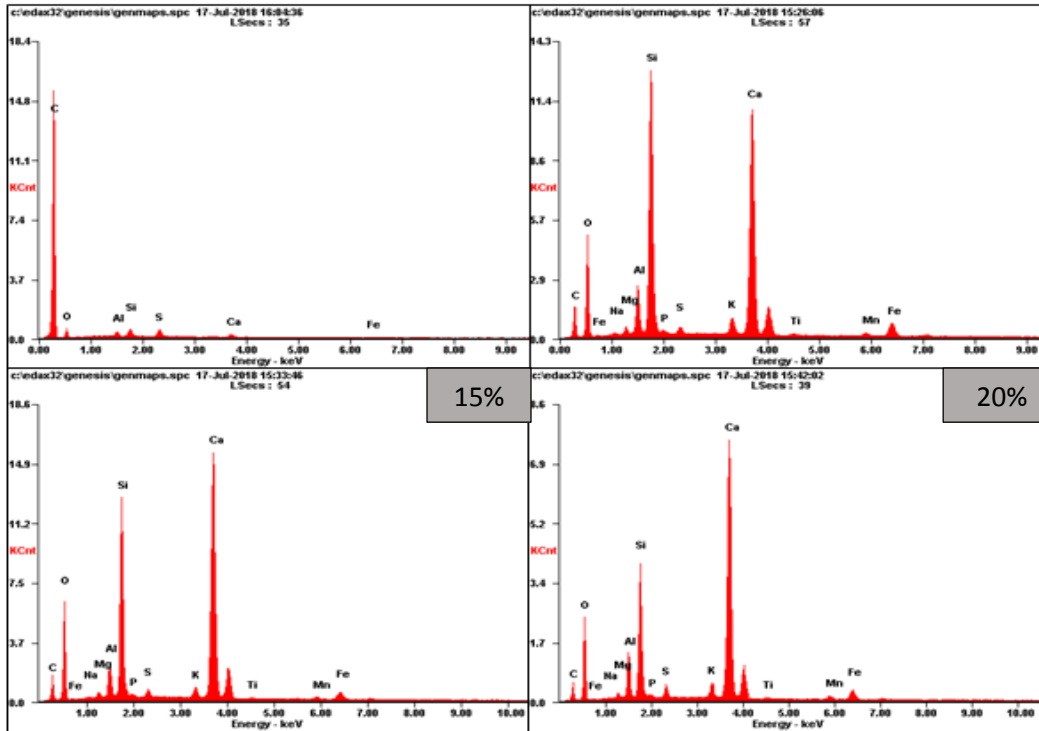


Figura 15. Espectro de sustancias presentes en las muestras de concreto en las diferentes dosificaciones

Nota. Tomado de: Laboratorio microscopía (Guatiguará)

5.5 Análisis de costos en el diseño de mezcla convencional y sustitución del 10% CCA para la elaboración de pre-losas no estructurales.

La cascarilla de arroz es un sub-producto que actualmente no tiene ningún costo comercial, pero al ser utilizado como material puzolánico en sustitución del cemento, su costo vendría aplicado en el proceso de combustión de este subproducto para el desarrollo adecuado como material cementante.

Los precios referentes para el presupuesto de los concretos realizados en este estudio fueron tomados de la revista Construdata, Colombia (Concretos, s.f.) y la empresa distribuidora

CASCARILLA SALAMANCA G ubicada en el departamento del Tolima (CASCARILLA SALAMANCA G. Venta de abonos orgánicos de calidad, s.f.), en el cual se encontró el valor de la cascarilla de arroz quemada por bulto de 10Kg a \$2300 pesos colombianos.

Comparando los 2 presupuestos presentados en las tablas 10 y 11, se puede observar que hay una reducción de costos de aproximadamente \$20.000 pesos colombianos sustituyendo el 10% por CCA, además de los beneficios ambientales que trae consigo el uso de este sub-producto los cuales no se llegaron a cuantificar en esta etapa del proyecto.

Tabla 10

Costo para un metro cúbico de concreto de 25 MPa

<i>Material</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidades</i>	<i>Val/uni</i>	<i>Desperdicio 5%</i>	<i>Total</i>	<i>Ahorro en cemento</i>
Cemento	425	Kg	430	21,25	\$191.888	cemento \$191.888
Arena	0,315	M3	55000	0,02	\$18.191	cemento \$172.699
Grava	0,319	M3	35000	0,02	\$11.723	\$19.189
Agua	225,3	LTS	0,518	11,27	\$123	
Total					\$221.925	

Tabla 11.

Costo para un metro cúbico de concreto 25 MPa con sustitución del 10% CCA

<i>Material</i>	<i>Cant.</i>	<i>Unid</i>	<i>Val/uni</i>	<i>Desperdicio 5%</i>	<i>Total</i>	Ahorro en Diseño de mezcla
						Diseño 25 mpa \$221.924,54
Cemento	382,5	Kg	430	19,13	\$172.699	Diseño 10% CCA \$213.000
Arena	0,315	M3	55000	0,02	\$18.191	\$ 8.925
Grava	0,319	M3	35000	0,02	\$11.723	

						Ahorro en Diseño de mezcla	
<i>Material</i>	<i>Cant.</i>	<i>Unid</i>	<i>Val/uni</i>	<i>Desperdicio</i>	<i>Total</i>	Diseño 25	\$221.924,54
				5%		mpa	
Agua	225,3	LTS	0,518	11,27	\$123		
CCA	42,5	Kg	230	2,125	\$10.264		
				Total	\$213.000		

6. Conclusiones

- Se pudo observar en la variación de la resistencia a compresión de los diferentes porcentajes de sustitución de CCA, que tanto la muestra patrón como la sustitución del 10% cumplieron con la resistencia deseada a los 28 días de 21 Mpa mínima en el diseño de mezcla para las pre-losas, esto debido a que se realizó de acuerdo a las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana (NTC) y el método de diseño de mezcla ACI 211.
- La sustitución del 10% de CCA en la dosificación para un diseño de concreto convencional obtuvo un comportamiento similar, presentando un pequeño aumento del 4% en la resistencia a los 28 días de fraguado con respecto a la mezcla de control, lo cual hace de esta sustitución óptima con respecto a la resistencia a compresión.
- Se evidencio que la utilización de este sub-producto produce una reducción de costos en el diseño de mezcla lo que hace viable hasta un 10% de la sustitución de CCA para la fabricación de pre-losas no estructurales.

- En el ensayo a flexión se evidencio que la sustitución de la CCA del 10% es la que aporta una mejor tendencia con respecto a la muestra patrón a diferencia de las otras dosificaciones de CCA, a pesar que mostró un mejor comportamiento no es la más óptima para trabajar a flexión.
- Es recomendable realizar más sustituciones y comprobaciones con otros cementos disponibles en el mercado con distintas relaciones (a/c) para analizar de mejor manera la trabajabilidad de la mezcla, además el comportamiento de las mezclas con CCA a días de fraguado mayores a los que se realizaron en este proyecto ya que según la literatura científica (Trujillo, 2017) la actividad puzolánica requiere mayor tiempo de fraguado para un mejor desarrollo.
- Es necesario realizar estudios a la CCA para optimizar este material y darle una solución a la capacidad biodegradable que este tiene con respecto a los materiales que se trabajaban para el diseño de mezcla.
- Aunque es viable el uso de la CCA para este proyecto de grado desde el punto de vista económico se hace una aclaración que no fue cuantificable el impacto ambiental en la producción de esta.
- Este tipo de estudio puede ayudarnos a dar una solución en cuanto a tener un mejor aprovechamiento del subproducto de cascarilla de arroz, la cual en algunos molinos de arroz en Colombia no tienen establecidos una disposición final para este y así poder darle un valor agregado y generar un material que sea complemento del cemento buscando de esta manera reducir el impacto ambiental que tiene la producción del cemento actualmente.

Referencias Bibliográficas

- A.Forero, L.A.Medrano, & S.Díaz. (2009). Obtención de silicio metalúrgico apartir de mezclas de ceniza de cascarilla de arroz y arena silicea. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales.*, 3-6.
- Aguilar, J. S. (2009). *ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN COLOMBIA*. Sincelejo.
- Association, N. R. (s.f.). Prueba de Resistencia a la Compresión. *Hormigon el concreto en la practica*(Capitulo 35), 2.
- Association, N. R. (s.f.). Resistencia a la flexión del concreto. *El hormigon el concreto de la práctica, Capitulo 16*, 1.
- Becerra, J. P. (2014). *Efectos de la silice amorfa en las propiedades cristalquimicas y mecanicas del hormigon en un medio salino*. Valdivia,Chile.
- Betoncken, M. T. (s.f.). *Betoncken*. Recuperado el 12 de Mayo de 2018, de http://betondecken.com/MANUAL_BETON_DECKEN_-_PRELOSAS.pdf
- Cascarilla Salamanca G. Venta de abonos orgánicos de calidad*. (s.f.). Recuperado el 05 de Junio de 2018, de <https://cascarillasalamancag.wixsite.com/ventadecascarilla>
- Colombiana, N. T. (1992). NTC 396, Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Bogotá, Colombia: ICONTEC.
- Colombiana, N. T. (1992). NTC 92, Determinación de la masa unitaria y los vacios entre partículas de agregados. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Colombiana, N. T. (1995). NTC 197, Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Colombiana, N. T. (1995). NTC 237, Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Colombiana, N. T. (2000). NTC 127, Concretos. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Colombiana, N. T. (2000). *NTC 550, Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra*. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Colombiana, N. T. (2005). *Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios)*. Bogotá.

Colombiana, N. T. (2005). NTC 2871, Método de ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios). Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Colombiana, N. T. (2007). NTC 77, Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Colombiana, N. T. (2010). *Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos*. Bogotá: ICONTEC.

Colombiana, N. T. (2010). NTC 673, Concretos. Ensayo de resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Concretos, P. I. (s.f.). *CONSTRUDATA*. Recuperado el 28 de Junio de 2018, de <http://www.construdata.com/>

DANE. (17 de Mayo de 2017). Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-arrocero>.

- Forero, R. G., & Jaime, J. A. (1983). *Desarrollo del proceso de calcinación de la cascarilla de arroz, para su utilización como cemento negro*. Bucaramanga: UIS.
- Institute, A. C. (1998). *DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS POR EL METODO ACI*. Michigan, Farmington Hills.
- Jordi Payá, v. B. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *Revista DYNA*, 79(175), 128-136.
- L.M:Ahumada, J. R.-P. (2006). Uso del SiO_2 obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio. *Rev.Acad.Colomb.Cienc*, 30(117), 581-594.
- Materials), A. C. (2002). Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (usando una viga simple con carga en los tercios). Estados Unidos .
- Materials), A. C. (2009). Método de ensayo normalizado para la obtención y el ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de concreto . Estados Unidos.
- Materials), A. C. (2010). Método de ensayo estándar para la resistencia a la flexión del hormigón (utilizando viga simple con carga en el punto central). Estados Unidos .
- Misiones Online*. (s.f.). Recuperado el 16 de Junio de 2018, de <http://misionesonline.net/2015/09/16/iniciaron-montaje-de-vigas-y-losas-en-el-puente-acaragua/>
- Morante, H. L. (1970). *Investigación sobre la posible utilización de la cascarilla de arroz como agregado en el concreto liviano*. Bucaramanga: UIS.
- Nelson Camargo, C. H. (2017). Concreto hidráulico modificado con sílice obtenida de la cascarilla de arroz. *Revista UMNG*, 27(1), 91-109.
- Pedro E. Matthey, R. A. (2015). Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* , 2(35), 285-294.

Peña, W. E., & Amaya, H. L. (1997). *Fabricación de tejas onduladas con cemento, ceniza de cascarilla de arroz y Fibratex*. Bucaramanga: UIS.

Sísmica, A. C. (1810 - 2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia.

Trujillo, D. A. (2017). *Uso de la CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ como reemplazo parcial del cemento en la fabricación de hormigones convencionales en el Ecuador*. Quito: Universidad San francisco de Quito USFQ.

Apéndices

Apéndice A. Ensayos físicos de los agregados



LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION

SOLICITANTE :	
MATERIAL, PROCEDENCIA, DESCRIPCION:	AGREGADO GRUESO Y FINO, PREVESA SAS.

GRAVEDADES ESPECIFICAS					
	A FINO	A GRUESO		A FINO	A GRUESO
REAL	2,68	2,69	PESO UNITARIO SUELTO	1550Kg/m3	1564Kg/m3
APARENTE	2,53	2,64	PESO UNITARIO COMPACTO	1306Kg/m3	1435Kg/m3
APARENTE SSS	2,59	2,66	ABSORCION%	2%	1%
			PORCENTAJE DE VACIO	40%	41%
MATERIA ORGANICA # 1		FINO	NORMAS N T C - 77 - 127 - 92 - 237 - 176		

A. FINO	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
	4	20,4	2,04	2,04	97,96
8	116,5	11,67	13,71	86,29	
16	127,8	12,80	26,52	73,48	
30	196,8	19,72	46,23	53,77	
50	314,6	31,52	77,75	22,25	
100	159,1	15,94	93,69	6,31	
FONDO	63,0	6,31	100,00	0,00	
TOTAL	998,2			1000 gramos	
MODULO DE FINURA	2,59	TAMAÑO EFECTIVO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD		

A. GRUESO	1 1/2				
	1	74,5	0	0	100
	3/4	1472	21,04	21,04	78,96
	1/2	3154,7	45,09	66,13	33,87
	3/8	1296,4	18,53	84,66	15,34
	# 4	998,5	14,27	98,94	1,06
	FONDO				
	TOTAL	6996,1		PESO MUESTRA	7000 gramos
	TAMAÑO MÁXIMO	1	TAMAÑO EFECTIVO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	
				D	

Slump de las mezclas de concreto



Slump patrón : 10 pulgadas



Slump con 10% CCA : 2.16 pulgadas



Slump con 15% CCA: 2 pulgadas



Slump con 20% CCA: 5.6 pulgadas con adición de 1000 mililitros

Especímenes cilíndricos y vigas de concreto



Ensayo a compresión de cilindros y flexión de vigas

