

LA CENIZA DE CASCARILLA DEL ARROZ COMO APOORTE A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO HIDRÁULICO

Por: Nelson Ricardo Camargo Pérez

Especialista en Infraestructura Vial / ingricardocamargo@yahoo.es

Resumen—La ceniza de cascarilla del arroz tiene un alto contenido de sílice que también está presente en el cemento, por lo tanto, esta investigación analiza el comportamiento mecánico, físico y químico de una mezcla de concreto hidráulico modificada con ceniza obtenida por la incineración de la cascarilla del arroz. La metodología utilizada fue un diseño experimental con una muestra patrón con resistencia a la compresión de 27.57 MPa y resistencia a la flexión de 3.8 MPa. La modificación se realizó sustituyendo cemento por ceniza en proporciones del 5%, 15% y 30%. Los resultados muestran disminución de la resistencia para los diferentes porcentajes de sustitución.

Palabras Clave—Cascarilla de arroz, ceniza, concreto hidráulico.

1. INTRODUCCIÓN

El cemento es una de las materias primas en la construcción de pavimentos rígidos en el mundo, pero su producción es considerada uno de los procesos más contaminantes que existen en nuestro planeta [1], especialmente para la vegetación que se encuentra en áreas cercanas a las fábricas de cemento [2], de aquí la importancia de encontrar nuevas materias primas que reemplacen parcial o totalmente el cemento en las mezclas de concreto hidráulico sin que se pierdan las propiedades mecánicas de la misma.

De acuerdo al DANE el Departamento de Casanare está dentro de los 5 departamentos productores de arroz en Colombia con 423359 toneladas en el segundo semestre del año 2014 y de esta producción el 20% es cascarilla del arroz [1] la cual no tiene una disposición final definida y se convierte en un desecho que no se puede almacenar por su alto volumen, por lo tanto, con esta investigación se pretende dar una solución para su disposición final y

un valor agregado a la misma.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada fue un diseño experimental compuesto por 5 etapas:

- Selección fuente de material
- Caracterización de materiales
- Diseño de mezcla y fabricación de especímenes
- Ensayos de resistencia
- Análisis estadístico de datos y resultados

Los materiales seleccionados en esta investigación fueron cascarilla de arroz proveniente de la planta procesadora de arroz DiCorp, agregados pétreos (arena y grava) provenientes de Crasurca S.A. y cemento Holcim tipo TI de uso comercial.

3. RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Se caracterizó la ceniza de la cascarilla del arroz, el cemento portland y los agregados pétreos para conocer sus propiedades físicas y químicas.

3.1.1 Caracterización de la ceniza de la cascarilla del arroz

Se realizó una caracterización mineralógica y química de la ceniza por medio de análisis de difracción de rayos X (DRX) y microscopio electrónico de barrido (MEB) encontrándose los resultados consignados en la tabla 1, esta ceniza se obtuvo del proceso de incineración de la cascarilla del arroz a una temperatura controlada de 800°C +/- 20°C durante una hora, obteniéndose una sílice de alta reactividad.

Tabla 1. Caracterización química de la ceniza.

Análisis Químico (%)	
Descripción	Ceniza cascarilla del arroz
SiO ₂	90
Al ₂ O ₃	0.62
Fe ₂ O ₃	0.5
CaO	1.23
MgO	0.34
Na ₂ O	< 0.32
K ₂ O	2.07
TiO ₂	0.03
Pérdida al fuego	0.5

El análisis de DRX determinó que en la ceniza están presentes óxidos de silicio tipo cristobalita, cuarzo y un silicato tipo illita, óxidos de magnesio tipo brucita y carbonatos de calcio tipo calcita y el análisis de MEB determinó que tiene una forma laminar con alta presencia de sílice (figura 1).

Fuente. INCITEMA

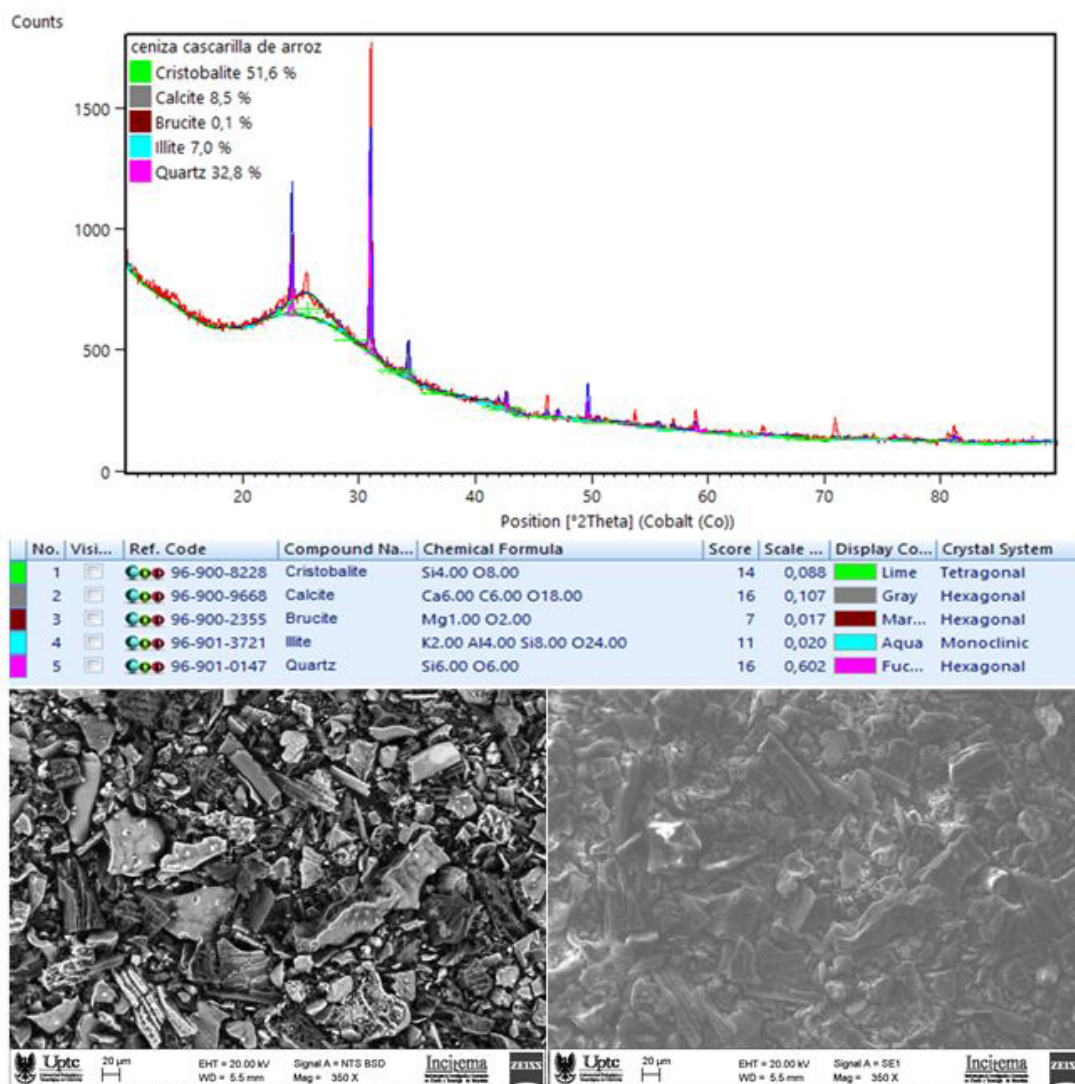


Figura 1 Caracterización mineralógica de la ceniza DRX y MEB.
Fuente: INCITEMA

3.1.2 Caracterización del cemento

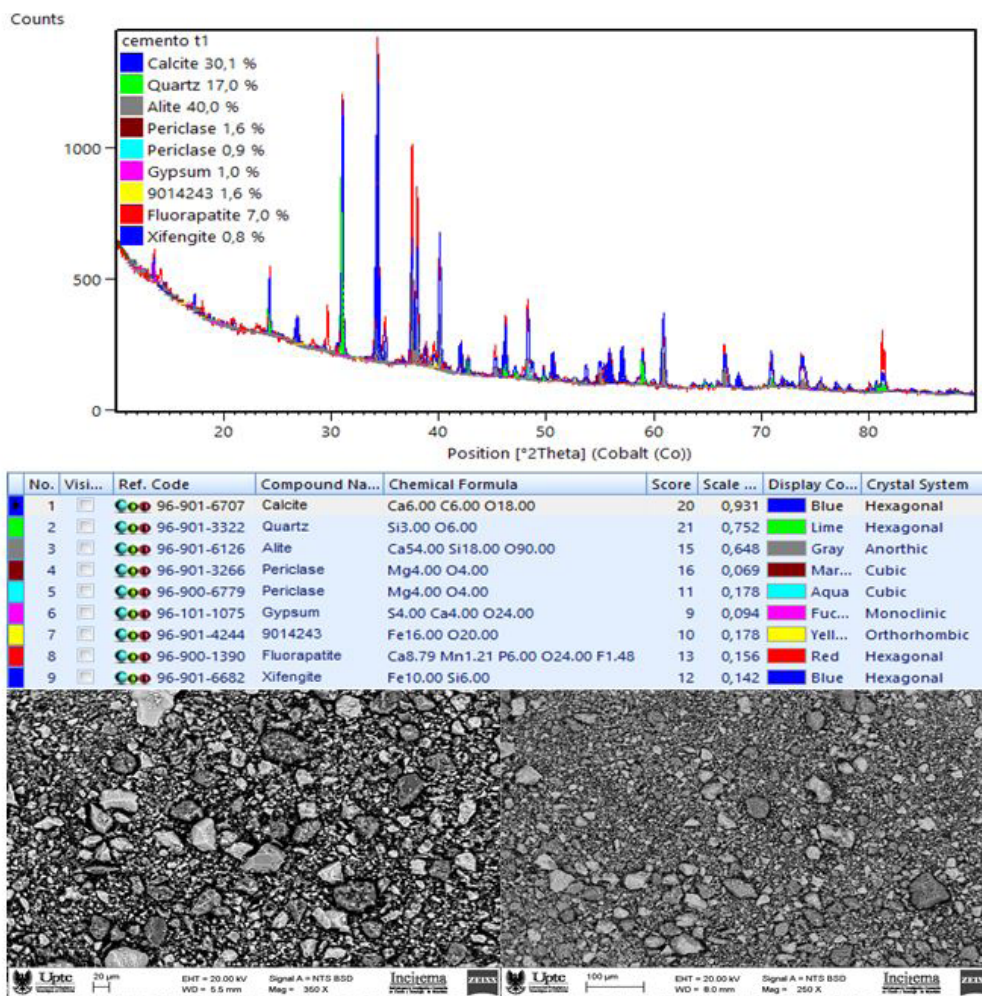
El cemento utilizado en la investigación fue portland tipo 1, que es el cemento comercial más usado en la

construcción de pavimentos rígidos, en la tabla 2 se encuentra la composición química.

Tabla 2. Caracterización química del cemento

Análisis Químico (%)	
Descripción	Ceniza cascarilla del arroz
SiO ₂	40.5
Al ₂ O ₃	5.8
Fe ₂ O ₃	2.48
CaO	40.9
MgO	0.6
P.I.	6.9
Na ₂ O	0.10
K ₂ O	0.77
TiO ₂	0.32
P ₂ O ₅	0.24
Cl	0.030

Fuente. Holcim (Colombia) S.A. Planta Nobsa



Al cemento se le realizó análisis mineralógico por medio del DRX y MEB encontrándose presencia de silicatos de calcio, carbonatos de calcio y minerales de tipo óxido, tiene una morfología laminar (figura 2).

Figura 2. Caracterización mineralógica del cemento DRX y MEB.

Fuente. INCITEMA

3.1.3 Caracterización de los agregados

Los agregados fino y grueso se caracterizaron de acuerdo a los ensayos de laboratorio descritos en el artículo 500 tabla 500-1 de las especificaciones generales de construcción de carreteras INVIAS-2013, los agregados cumplen con la gradación requerida.

Una vez realizada la caracterización de los materiales se realizó el diseño de mezcla del concreto hidráulico [3] para una resistencia a la compresión de 27.57 MPa y módulo de rotura de 3.8MPa.

De acuerdo al diseño experimental se utilizaron 3 porcentajes de sustitución de cemento por ceniza, 5%, 15% y 30% respectivamente para ser comparados con la muestra patrón, se elaboraron

60 especímenes para ser fallados a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, tracción indirecta y flexión a los 28 días de curado; cada ensayo tuvo 3 repeticiones.

En las pruebas de resistencia a la compresión se encontró que las muestras con sustitución de ceniza por cemento presentaron menor resistencia con referencia de la muestra patrón (figura 3 (a)), con la relación que a mayor porcentaje de sustitución menor resistencia.

En las pruebas de resistencia a la tracción indirecta se encontró la misma relación que en las pruebas de resistencia a la compresión, que a mayor porcentaje de sustitución menor resistencia (figura 3 (b)), sin embargo, los valores de las muestras con sustitución del 5% están cercanos a los de las muestras patrón.

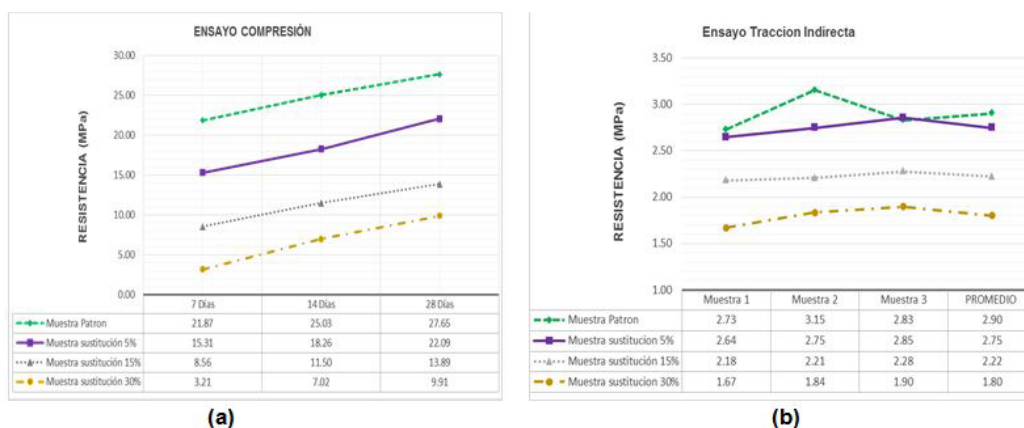


Figura 3. (a) Ensayo a compresión (b) Ensayo tracción indirecta muestra patrón y sustituciones
Fuente. Elaboración propia

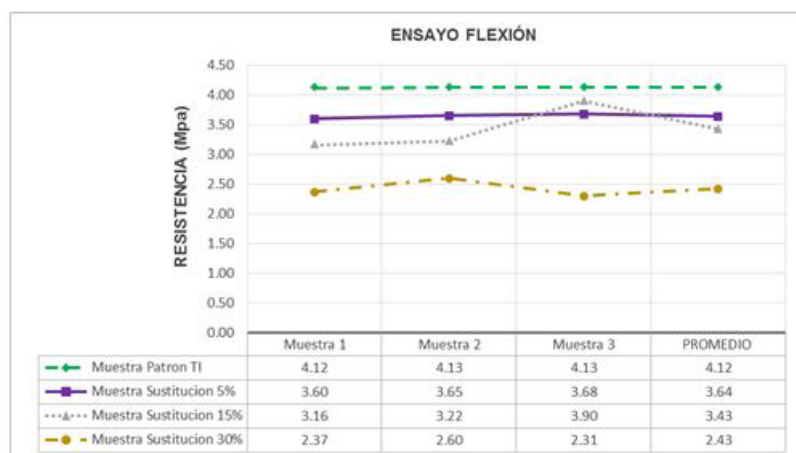


Figura 4. Ensayo flexión muestra patrón y sustituciones
Fuente. Elaboración propia

En las pruebas de resistencia a la flexión (módulo de rotura) se encontró que las muestras patrón cumple con la resistencia teórica de diseño de 3.8 MPa y los valores de las muestras con sustitución del 5% están cercanos a la resistencia teórica, sin embargo, las muestras con sustituciones del 15% y 30% presentan valores inferiores (figura 4).

Se realizó un análisis estadístico a todos los datos de los diferentes ensayos, sin embargo para los concretos hidráulicos el ensayo más representativo es el de flexión, por lo tanto se prueban 3 viguetas

del tipo de cemento TI (1), las concentraciones al 0%, 5%, 15% y 30% (4) a los 28 días (1). $(3 \times 1 \times 4 \times 1) = 12$, con estos datos se realiza el análisis de varianza (tabla 3).

Tabla 3. Análisis de Varianza para Módulo de rotura (MPa) TI - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Concentracion T1	18,0876	3	6,02919	488,85	0,0000
RESIDUOS	0,0986667	8	0,0123333		
TOTAL (CORREGIDO)	18,1862	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Fuente: Elaboración propia

La tabla ANOVA (tabla 3) descompone la variabilidad de Módulo de rotura (MPa) en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que un valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre Módulo de rotura (MPa) TI con un 95,0% de nivel de confianza.

- Contraste de Hipótesis Tipo de cemento (TI)

La concentración de ceniza en el concreto no influye los valores de Módulo de rotura (MPa):

I. Se plantea la hipótesis nula y una hipótesis alternativa:

$$\text{➤ } H_0 = \text{Módulo de Rotura}_{0\%} = \text{Módulo de Rotura}_{5\%} = \text{Módulo de Rotura}_{15\%} = \text{Módulo de Rotura}_{30\%}$$

$$\text{➤ } H_a = \text{Módulo de Rotura es distinto}$$

II. El nivel de significancia del análisis es del 95% : $\alpha = 0,05$

Se establece estadístico de prueba

$$F_A = \frac{\hat{S}_A^2}{\hat{S}_R^2} = \frac{mJ \sum_{i=1}^I \frac{(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})^2}{I} - 1}{\hat{S}_R^2} \rightarrow F_{I-1;IJ(M-1)}$$

$$F_A > F_{0,95,3,8}, F_A = 488.85 > F_{0,95,3,8} = 4.066$$

se rechaza H_0 con una confianza del 95%, entonces se rechaza la Hipótesis que los módulos de rotura son similares.

4 DISCUSIÓN

La ceniza de la cascarilla del arroz presenta un alto contenido de sílice (91.4%) lo cual es coherente con otras investigaciones relacionadas con el tema [4-6], se esperaba tener un aumento en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico teniendo en cuenta que la ceniza de la cascarilla del arroz es un material puzolánico y altamente reactivo que al mezclarse con el cemento afectan las reacciones químicas en la fase de hidratación mejorando la resistencia del concreto[4,7], sin embargo no se presentó.

La cascarilla del arroz no se sometió a ningún tratamiento químico de limpieza antes de ser incinerada [8] lo cual puede incidir en la calidad de la ceniza, teniendo en cuenta los productos químicos que se deben aplicar durante la cosecha del arroz. Adicionalmente no se aplicó ningún plastificante a la mezcla para mejorar su manejabilidad [6,8] lo cual también puede incidir en la resistencia final de la mezcla.

Los análisis de DRX y MEB realizados a las mezclas con sustituciones del 5%, 15% y 30%

revelan un aumento en los silicatos de calcio lo cual es favorable, sin embargo, se deben realizar análisis más profundos a nivel molecular y conocer qué estructuras internas se están formando para saber por qué la resistencia a la flexión no aumenta.

5 CONCLUSIONES

La ceniza de la cascarilla del arroz fue obtenida a una temperatura de $\pm 800^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 1 hora presentando un alto contenido de sílice lo cual corrobora los datos obtenidos en investigaciones similares.

La resistencia a compresión, tracción indirecta y flexión para las muestras con sustituciones del 5%, 15% y 30% estuvo por debajo de los valores de diseño, por lo tanto, no es muy factible su aplicación en la construcción de pavimentos rígidos, sin embargo, los valores de la resistencia a la flexión de las muestras con sustitución del 5% estuvieron cercanos a las de diseño, por lo cual se puede realizar un análisis más profundo entre un rango de sustitución de 0% - 5%.

Los resultados no fueron los esperados, sin embargo teniendo en cuenta que el diseño de mezcla es para un concreto hidráulico de resistencia a la compresión de 27.57 MPa, se pueden generar nuevas investigaciones para concretos de menor desempeño, como los utilizados para andenes, cimentaciones y concretos estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rendón, D., Ospina, M., & Mejía, R. (2009). Evaluación de la sílice obtenida de un subproducto industrial en pastas y morteros de cemento portland. *Revista informador técnico*, pp. 20-26.
- [2] Siqueira, A., Pereira, E., Modolo, V., Lemos, J., & Sousa, E. (2016). Impact of cement dust pollution on *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae): A potential bioindicator species. *Chemosphere*, 158, pp. 56-65. doi:org/10.1016/j.chemosphere.2016.05.047
- [3] Rivera, G. (2013) Concreto simple. Civilgeeks. En: <http://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-/>
- [4] Águila, I. & Sosa, M. (2008). Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos, *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23, pp. 55-66.
- [5] Jamil, M., Kaihsentes, A., Raman, S. & Zain, M. (2013). Pozzolan contribution of rice husk ash in cementitious system. *Construction and Building Materials*, 47, pp. 388-593. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.05.088
- [6] Chao-Lung, H., Anh-Tuan, B. & Chun-Tsun, C. (2011). Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. *Construction and Building Materials*, 25, pp. 3768-3772. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.04.009
- [7] Mejía, J., Mejía de Gutiérrez, R., & Puertas, F. (2013). Rice husk ash as a source of silica in alkali-activated fly ash and granulated blast furnace slag systems. *Materiales de Construcción*, 63, pp. 61-375. doi:10.3989/mc.2013.04712
- [8] Salas, A., Mejía, R., & Delvasto, S. (2013). Developing high-performance concrete incorporating highly-reactive rice husk ash. *Ingeniería e Investigación*, 33, pp. 49-55