

INFLUENCIA DEL MEZCLADO EN DOS ETAPAS EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS DE MAMPOSTERÍA CON CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ COMO AGREGADO FINO

Pedro E. Matthey¹, Rafael A. Robayo², Jherson E. Díaz³, Silvio Delvasto Arjona⁴, José Monzó⁵

¹M.Sc. en Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Grupo Materiales Compuestos. Cali, Colombia

²Ingeniero de Materiales, Universidad del Valle, Grupo Materiales Compuestos. Cali, Colombia.

³Estudiante de Doctorado en Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Grupo Materiales Compuestos. Cali, Colombia

⁴Profesor Titular, Universidad del Valle, Grupo Materiales Compuestos. Cali, Colombia

⁵Profesor Titular, Universidad de Politécnica de Valencia, Valencia, España.

* Contacto: pedromatthey@gmail.com

RESUMEN

El estudio del comportamiento mecánico de elementos prefabricados de concreto producidos con base en residuos agroindustriales es un tema clave para optimizar y potenciar el uso de estos residuos en la industria de la construcción. En este trabajo se estudió la influencia del mezclado en dos etapas sobre la resistencia a la compresión de ladrillos de concreto elaborados con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) proveniente de la arrocería la Esmeralda ubicada en Cali-Valle (Colombia). Este residuo se incorporó en mezclas de concreto con el fin de estudiar su efecto como puzolana en la sustitución parcial de cemento y como filler en la sustitución del agregado fino para la fabricación de ladrillos de concreto. Los resultados obtenidos mostraron que la adición del 20% de CCA actuando como *filler* y puzolana es la composición óptima para el uso de este residuo agro-industrial en la fabricación de bloques. Además se encontró que el proceso de mezclado en dos etapas mejora la calidad del prefabricado, aumentando las propiedades mecánicas de las mezclas elaboradas a 28 días de curado.

Palabras claves: *Ceniza de cascarilla de arroz (CCA), Resistencia a compresión, Mezclado en dos etapas, Filler, Puzolana, Bloques de concreto.*

ABSTRACT

The study of the mechanical behavior of precast concrete elements produced from industrial agriculture residues is a key subject to optimize and encourage the use of these residues in the construction industry. The main objective of this study was to evaluate how the two stage mixing process impacts the resistance to compression of concrete bricks manufactured with Rice Husk Ash (RHA) from a rice producing facility, La Esmeralda, located in Jamundí-Valle (Colombia). This residue was incorporated in concrete mixtures with the purpose of studying its effect as pozzolan in the partial substitution of cement and as filler in the substitution of the fine aggregate for the manufacture of concrete bricks. The results showed that the addition of 20 percent of CCA acting as a *filler* and pozzolan is the optimal composition for the use of this agro-industrial residue in the fabrication of blocks. It was also discovered that the two stage mixing process

improves the quality of the pre-fabricated concrete elements, increasing the mechanical properties of the mixtures cured at 28 days.

Keywords: *Rice Husk Ash (RHA), Compressive strength, Two stage mixing, Filler, Pozzolan, Concrete blocks, Brick.*

1 INTRODUCCIÓN

La CCA es un desecho agroindustrial que constituye aproximadamente el 20% de la producción mundial de arroz, que se aproximó a los 700 millones de toneladas en el año 2011 [1]. Esta ceniza puede llegar a contener un porcentaje de más del 90% de sílice en su composición y su actividad puzolánica depende principalmente de la temperatura, de la duración de incineración de la cascarilla, y de las condiciones de enfriamiento [2], [3]. El control de estas variables puede conllevar a la obtención de un gran porcentaje de sílice amorfa altamente reactiva que presenta la capacidad de reaccionar con el hidróxido de calcio producto de las reacciones de hidratación del cemento, dando lugar a la formación de cristales de silicato de calcio hidratado (CHS) que promueven el incremento de la resistencia mecánica de los concretos adicionados [4], [5].

La CCA posee propiedades puzolánicas, que le podría otorgar a las mezclas de concreto buenas propiedades mecánicas y físicas [6]. Por esta razón evaluar que la misma esté presente en elementos estructurales de concreto como los ladrillos, es una idea que se ha venido trabajado desde aproximadamente dos décadas por diferentes investigadores a nivel mundial [7], [8], [9], [10]. Actualmente se han realizado investigaciones donde la CCA sirve como sustituto en ciertas proporciones del cemento, sin embargo, la CCA colombiana, debido a los procesamientos inadecuados de quema y tiempos incineración excesivos, presenta limitantes en cuanto a sus propiedades puzolánicas, que han tenido que ser tomadas en cuenta en el mejoramiento de otros procesos alternos a la adecuación de este material [11], [12], [13]. Uno de los procesos para mejorar el comportamiento de los agregados y la ceniza, en el concreto, es propuesto en la etapa de mezclado, y se denomina Mezclado en Dos Etapas, en donde se forma una suspensión acuosa de material cementicio para cubrir los agregados y llenar las grietas y poros en ellos, fortaleciendo la zona de transición interfacial, que conduce a un aumento de la resistencia del concreto reciclado. También es sabido que el uso de materiales puzolánicos tales como humo de sílice y cenizas volantes mejora el rendimiento del concreto reciclado, mejora su resistencia a la penetración por iones de cloruro y reduce la contracción por secado y la permeabilidad sin aumentar el costo del concreto. Estudios de densidad han demostrado que mezclas fabricadas bajo un método de mezclado en dos etapas, presentan rangos más altos que las mezclas normalmente a todas las edades de curado estudiadas [14], [15].

El objetivo de este estudio es evaluar la CCA como sustituyente parcial de la arena y el cemento en la producción de bloques de concreto usando el método de mezclado en dos etapas; para que de esta manera los costos de producción por bloque sean menores y con esto más accesibles para la población rural, sin comprometer ninguna de las características mecánicas y físicas del bloque habitual.

2 MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Materiales Usados

Para la elaboración de Bloques se utilizó cemento portland Tipo 1 (OPC) fabricado por la empresa Argos (Colombia) y CCA obtenida del proceso de combustión en la arrocera La Esmeralda, ubicada en el municipio de Jamundí-Valle (Colombia).

2.1.2 Propiedades Físicas y Químicas del Cemento y de la CCA

En la tabla 1 se observa la composición química de la CCA y del Cemento realizada con un espectrómetro de fluorescencia de rayos X marca Philips, modelo PW 4017/20. La densidad del cemento es de 3,03 Kg/cm³.

Tabla 1. Composición química de la CCA y el Cemento.

Componente (% en peso)								
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	S	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
OPC	53,613	17,812	4,289	3,939	1,285	1,125	0,316	0,289
CCA	0,388	91,388	0,367	0,129	0,142	0,333	2,169	0,055

El tamaño medio de partícula de la CCA fue de 40,70 µm y se obtuvo en un granulómetro laser modelo MATERSIZER 2000 (MalvernInstrument); en la tabla 2 se observan diferentes características de la CCA utilizada.

Tabla 2. Pérdida al fuego, porcentaje de sílice amorfa y densidades de la CCA.

Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario apisonado (gr/cm ³)	Gravedad Específica (gr/cm ³)	% Pérdida al fuego	% Sílice amorfa	% de humedad	% Absorción
NTC 92	NTC 92	(Arquímedes)		Método de Mehta		NTC 176
0,46	0,54	2,15	4,09	29,38	0,985	5,39

A través de la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) se pudo observar la morfología angular que presenta la CCA, en la figura 1 se aprecia además el efecto de la temperatura de obtención de la puzolana sobre la textura superficial de las partículas, que en el caso de las partículas cristalinas esta superficie es lisa y la porosidad es reducida debido a la sinterización ocurrida en la CCA [16]. Se observa además, que el tamaño promedio de partícula corresponde al obtenido mediante la Granulometría Laser.

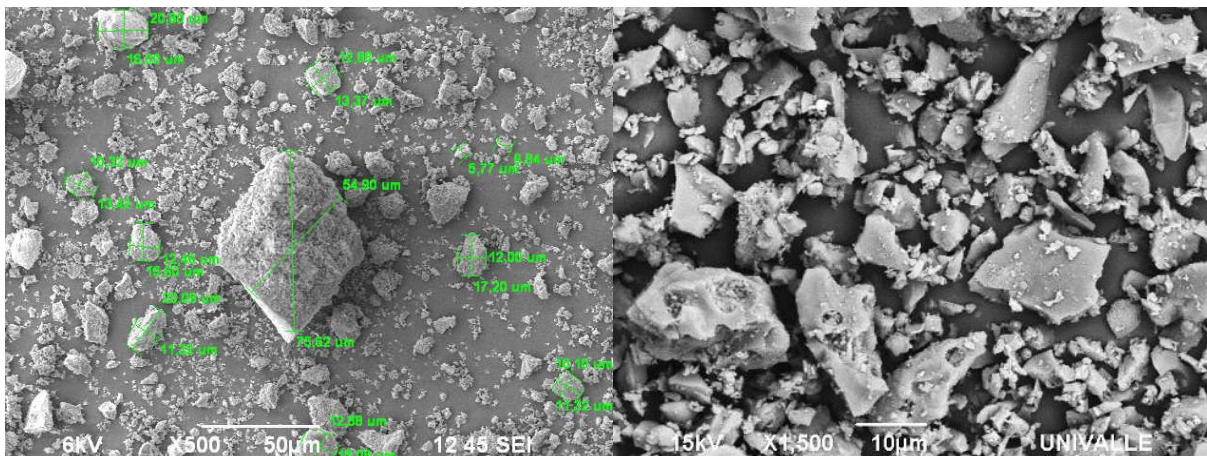


Figura 1. MEB de la morfología de las partículas de CCA.

2.1.3. Propiedades de los agregados

Se utilizaron agregados de la región que cumplen con las especificaciones de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) para la producción de mezclas de concreto, En la Tabla 3 se muestran las características generales de la arena y del agregado grueso utilizado.

Tabla 3. Características de los agregados utilizados para la fabricación de los Bloques.

Propiedad	Agregado grueso	Agregado fino (arena)
Módulo de finura	4,23	2,13
Densidad aparente (g/cm ³)	2,64	2,73
Absorción (%)	2,98	3,36

2.2 Diseño de mezclas

Se realizaron estudios preliminares con el fin de determinar la relación cemento: agregado óptima y el porcentaje adecuado para la incorporación de la CCA actuando como filler (sustitución de la arena) y puzolana (sustitución del cemento). La variable de respuesta fue la resistencia a compresión, usando bloques con dimensiones de 39x25x12 cm; los resultados preliminares se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Resistencia a la compresión de bloques con CCA actuando como puzolana y *filler*.

Mezclas estudiadas	Resistencia a la compresión a diferentes días de curado (MPa)			
	7 días (<i>Filler</i>)	28 días (<i>Filler</i>)	7 días (Puzolana)	28 días (Puzolana)
Patrón 1:6	3,14	5,88	2,60	3,68
Patrón 1:8	2,63	4,95	1,93	2,34
10% 1:6	2,33	3,42	1,91	3,09
10% 1:8	1,85	2,73	1,78	2,02
20% 1:6	2,36	6,28	2,54	4,34
20% 1:8	3,28	4,94	2,93	4,57
30% 1:6	2,13	3,20	0,89	1,10
30% 1:8	1,08	1,29	0,86	1,01

Los resultados muestran que el mejor comportamiento mecánico lo presentó la relación cemento:agregado de 1:6 y la sustitución del 20% del agregado fino por la CCA; por lo que se decidió diseñar la mezcla teniendo en cuenta estas proporciones como se muestra en la tabla 5. La relación agua/cemento se mantuvo en 0,4 para todas las mezclas.

Tabla 5. Diseño de mezclas para concretos con proporciones cemento agregado 1:6 sustituyendo la CCA en un 20% por el agregado fino.

Materiales	Peso seco por metro cúbico de concreto (Kg/m ³)		
	0% CCA	20% CCA	20% CCA
Cemento	298	298	238,4
Agua	119,2	119,2	119,2
Agregado grueso	1609,2	1609,2	1609,2
Arena	178,8	143,04	178,8
CCA (<i>filler</i>)	0	31,90	0
CCA (puzolana)	0	0	42,29

3 RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

3.1. Resistencia mecánica a la compresión de ladrillos

Como se observó en los ensayos preliminares, las mezclas de concreto con el mejor comportamiento mecánico son aquellas que presentan la CCA en un 20% como *filler* con una relación de cemento agregados de 1:6. Con estos resultados se tomó un punto de referencia para la producción de los elementos y se procedió a fabricar los ladrillos en una máquina CINVARAM; para de esta forma evaluarla resistencia a la compresión de estos elementos, obteniendo los resultados de la figura 2.

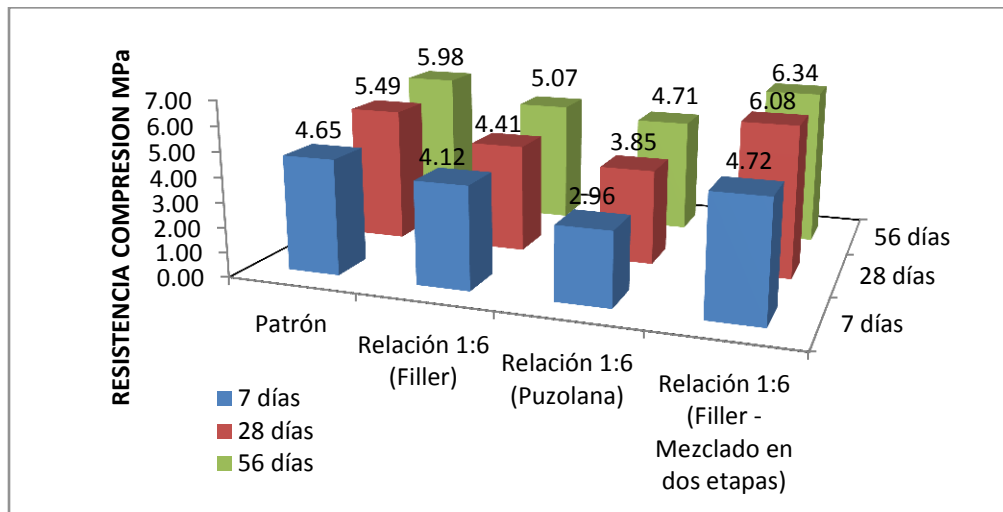


Figura 2. Resistencia a la compresión de los ladrillos a diferentes edades de curado.

De la misma manera como ocurrió con las mezclas de concreto fabricadas previamente, los ladrillos que poseen la CCA en forma de *filler* presentan mejores resistencias que los que poseen la CCA como puzolana y esto se debe a que cuando la ceniza está sustituyendo al cemento, su número de coordinación es menor por lo que las resistencias caen. Por otra parte cuando la ceniza se incorpora en forma de *filler* esta cumple por su presencia física como un agregado fino, sin embargo, la fracción de partículas finas que esta posee, logran desarrollar una actividad puzolánica a medida que el tiempo de curado avanza generando resistencias aún mayores que en el caso en que el agregado usado es inerte (arena); por otra parte, cuando esta ceniza sustituye parcialmente el cemento (puzolana), ésta necesita un tiempo mayor para desarrollar valores de resistencia similares a la mezcla de referencia, esto debido a la baja actividad puzolánica que mostró esta CCA, que pudo ser generada por un deficiente control de las variables tiempo y temperatura durante su proceso de quema [17], [18].

Sin embargo, cabe destacar que los ladrillos que presentaron los mejores valores de resistencia mecánica fueron los que se mezclaron en dos etapas, incluso con la incorporación del 20% de CCA, logrando incrementos del orden del 10% en su resistencia mecánica; esto se debe a que se crea una mejor interfase y adherencia entre los elementos que componen la mezcla de concreto y por tal razón una mejor resistencia a la compresión de los ladrillos [19].

Los ladrillos referencia y los mezclados en dos etapas con la CCA como filler presentan resistencias de 5,49 MPa y 6,08 MPa respectivamente, logrando así ser utilizados como elementos constructivos no estructurales según la norma NTC 4076 que establece que para estar dentro de un rango no estructural los bloques deben presentar resistencias a la compresión a los 28 días de curado entre 5 y 6 MPa, por otra parte, la norma ASTM C129-06 fija un valor mínimo de resistencia a la compresión de los bloques huecos de concreto de 4.14 MPa, aspecto que se podría contrastar con los ladrillos fabricados. Adicionalmente, el documento *Design and Masonry de Auroville Earth Institute* señala que la carga mínima admisible de aplastamiento para resistencia a los terremotos debe ser de 25 Kg/cm² (2,5 MPa) en húmedo, después de tres días de inmersión (*Auroville Earth Institute*).

4 CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos durante la ejecución de esta investigación se demostró la viabilidad de producir bloques de concreto con relaciones de 1:6 de cemento: arena cumpliendo los parámetros establecidos en la norma que rige estos elementos, resaltando que la utilización de la CCA permite la reducción del consumo de cemento hasta en un 20% para lograr similar desarrollo resistente a 28 días de curado.

Además se logró observar que el uso del método de mezclado en dos etapas generó un incremento de la resistencia a la compresión de la mezclas evaluadas en todas la edades de curado estudiadas, este valor de resistencia fue incrementado de 5,49 a 6.08 MPa a los 28 días de curado, clasificando así según la norma, como un elemento no estructural de interiores, destacando la incorporación a la mezcla de un 20% de CCA como *filler*.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Federación Nacional de Arroceros (Fedearroz): “Estadísticas Arroceras; Bondades y Beneficios del Arroz”, [En línea], Bogotá D.C, (2011), Disponible en: <http://www.fedearroz.com.co/Index.html> [Consultada el día 22 de Diciembre de 2011].
2. Valverde, A.; Sarria, B.; y Monteagudo, J: “Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz”, Scientia Et Tecchica, Diciembre, año/vol. XIII, número 037, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, (2007).
3. Salas, A.; Delvasto, S.; Mejia de Gutiérrez, R.; y Lange, D: “Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete”, Cement and Concrete Research 39, p. 773–778, September (2009).
4. ARISTIDOU, A y PENTTILÄ, M. “Metabolic engineering applications to renewable resource utilization, Biochem”. pp. 187–198.(2000).
5. JAIN, A. RAO. T.R, SAMBI. S. S y GROVER. “Energy and chemicals from rice husk, Biomass Bioenergy”. pp. 285–289.(1994)
6. DELLA, V. KÜHN, I y HOTZA, D. “Rice husk ash as an alternate source for active silica production”. pp. 818–821.(2002)
7. Chindaprasirt, P., & Rukzon, S. “Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement , rice husk ash and fly ash mortar”, 22, 1601-1606.(2008a).
8. Ganesan, K. “Rice husk ash blended cement : Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete”. Water, 22, pp.1675-168..(2008).
9. Rajamma, R., Ball, R. J., Tarelho, L. a C., Allen, G. C., Labrincha, J. a, & Ferreira, V. M. “Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials. Journal of hazardous materials”, 172(2-3), 1049-60. (2009).
10. Yu, Q., Sawayama, K., Sugita, S., Shoya, M., & Isojima, Y. “The reaction between rice husk ash and Ca(OH)₂ solution and the nature of its product”. Cement and Concrete Research, 29(1), 37-43.(1999).

11. Bui, D. D., Hu, J., & Stroeven, P. "Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete". *Cement and Concrete Composites*, 27(3), 357-366.(2005).
12. Givi, A. N., Rashid, S. A., Aziz, F. N. a, & Salleh, M. A. M. "Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete". *Construction and Building Materials*, 24(11), 2145-2150. (2010).
13. Chindaprasirt, P., & Rukzon, S. "Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar". *Construction and Building Materials*, 22(8), 1601-1606. (2008b).
14. Tam, V., Tam, C., & Wang, Y. "Optimization on proportion for recycled aggregate in concrete using two-stage mixing approach". *Construction and Building Materials*, 21(10), 1928-1939. (2007).
15. Arboleda, C. "Cambios en la Permeabilidad y la Resistencia del Concreto Fabricado Utilizando Agregados Reciclados y el Sistema de Mezclados en Dos Etapas". Tesis de grado.(2011).
16. Ospina, M.; Mejía de Gutiérrez, R.; Delvasto, S.; Monzó, J.; Borrachero, M.V.; y Payá, J: "Modificación de la morfología de la ceniza de cascarilla de arroz por molienda de alta energía y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento portland adicionadas". *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales ISSN: 0255-6952 V. S1 (2) p. 577-584. (2009).*
17. Nair, D., Fraaij, a, Klaassen, a, & Kentgens, a. "A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes". *Cement and Concrete Research*, 38(6), 861-869. (2008).
18. Salas, A., Delvasto, S., de Gutierrez, R. M., & Lange, D. "Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete". *Cement and Concrete Research*, 39(9), 773-778. (2009).
19. Tam. V.W.Y, Gao. X.F, y Tam. C.M. "Microestructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach". *Cement and Concrete Research* 35 1195-1203. China. (2005).