Rev. LatinAm. Metal. Mat.

Artículo Regular

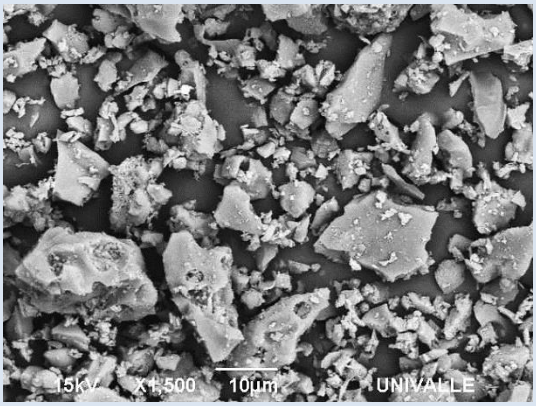
www.rlmm.org

APLICACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ OBTENIDA DE UN PROCESO AGRO-INDUSTRIAL PARA LA FABRICACION DE BLOQUES EN CONCRETO NO ESTRUCTURALES

Pedro E. Mattey[1], Rafael A. Robayo[2], Jherson E. Díaz[3], Silvio Delvasto[4], José Monzó[5]

1: M.Sc. en Ing. de Materiales, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 2: Ing. de Materiales, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 3: Ing. de Materiales, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 4: Profesor Titular, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 5: Profesor Titular, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

**e-mail: pedromattey@gmail.com*



RESUMEN

En esta investigación se logró desarrollar una aplicación para un residuo agro-industrial como lo es la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) resultante del proceso de combustión controlada de la cascarilla de arroz, este proceso de quema es realizado en la arrocera la Esmeralda ubicada en el municipio de *Jamundí* (*Cali, Valle del Cauca*, *Colombia*). La ceniza resultante del proceso de combustión de la cascarilla de arroz presento un porcentaje de sílice amorfa del 29,38%. Este residuo se incorporó en mezclas de concreto con el fin de estudiar su efecto como puzolana en la sustitución parcial de cemento Portland tipo I y como agregado fino, en la fabricación de bloques no estructurales y bloques macizos. Los resultados obtenidos mostraron que la relación cemento: agregado de 1:6 y la adición del 20% de CCA actuando como filler y puzolana es la composición óptima para el uso de este residuo agro-industrial en una aplicación como los bloques no estructurales. Además se encontró que el proceso de mezclado en dos etapas mejora la calidad del producto, aumentando las propiedades mecánicas de las mezclas elaboradas a 28 días de curado.

Palabras Claves: Ceniza de cascarilla de arroz (CCA); Puzolana; Filler; Bloques

APPLICATION OF RICE HUSK ASH OBTAINED FROM AGRO-INDUSTRIAL PROCESS FOR THE MANUFACTURE OF NONSTRUCTURAL CONCRETE BLOCKS

ABSTRACT

This research was to develop an application for an agro-industrial residue as it is the ash of rice (CCA) resulting from the process of controlled combustion of the husk of rice husks, this burning process is carried out in La Esmeralda rice located in Jamundí (Cali, Valle del Cauca, Colombia). The resulting ash from the combustion process of the rice husks presented a percentage of amorphous silica of 29.38%. This waste was incorporated into mixtures of concrete in order to study its effect as pozzolan in partial replacement of type I portland cement and as fine aggregate, in the manufacture of non-structural blocks and solid blocks. The results showed that the cement ratio: 1:6 and the addition of 20% of CCA acting as filler and pozzolan is the optimal composition for the use of this agro-industrial waste in an application as non-structural blocks. Also found that mixing two-step process improves the quality of the product, increasing the mechanical properties of the mixtures made to 28 days of curing.

Keywords: Rice Husk Ash, pozzolan, filler, blocks

Recibido: 18-10-2014 ; **Revisado:** 04-12-2014

Aceptado: 28-01-2015 ; **Publicado:** 07-03-2015

https://doi.org/10.5281/zenodo.10420419

pISSN: 0255-6952 | eISSN: 2244-7113

Rev. LatinAm. Metal. Mat. 2015; **35** (2): 285-294

1. INTRODUCCIÓN

La cascarilla de arroz es un material de desecho agrícola que constituye alrededor del 20% de la producción mundial de arroz, que se aproximó a los 700 millones de toneladas en el año 2011, la cascarilla de arroz es el mayor residuo resultante de la producción agrícola de granos y su disposición final es uno de los mayores problemas existentes en los países productores de arroz como Colombia. Según estudios recientes, en el país se producen cerca de 2'100.000 toneladas de arroz al año, y como consecuencia de esta producción cerca de 400.000 toneladas de cascarilla de arroz como residuo, las cuales mediante un proceso de quema controlada dan origen a cerca de 100.000 toneladas de CCA con un alto contenido de sílice [1], convirtiéndose así, en una alternativa potencial para su uso en la industria de la construcción gracias a sus características puzolánicas y su alta disponibilidad alrededor del mundo [2] [3] [4] [5].

La CCA obtenida de la cascarilla de arroz bajo condiciones de combustión controladas se ha empleado como material para obtener sílice de característica amorfa y poder ser utilizada como puzolana, la cual actúa como fuente de fases mineralógicas como los silicatos tricálcicos y bicálcicos (C_3S y C_2S) del cemento [6]. La sílice de la CCA reacciona con la cal, dando lugar esta reacción a la formación de cristales de silicato de calcio hidratado (CHS), que contribuyen a la generación de resistencias mecánicas en los concretos adicionados [7] [8] [9], es por esta razón que este material es considerado como una opción viable para la sustitución parcial del cemento en elementos constructivos como los bloques de concreto, tanto desde el punto de vista mecánico como económico, debido a que este residuo no representa ningún valor comercial hasta el momento distinto a su uso en el proceso de secado del grano de arroz por medio del aprovechamiento del calor generado durante su proceso de combustión [3] [10].

Hoy en día, los elementos de concreto moldeado tienen una cantidad infinita de usos, formas, texturas y colores, muy distintos a los materiales tradicionales de construcción. Gracias a su alta versatilidad, el concreto es usado para la producción de elementos prefabricados como; bloques estándares, ladrillos, adoquines, postes, losetas, muros de contención segmentados o cualquier otra especialidad, todos estos productos se logran actualmente con una muy buena calidad y con unos costos significativamente bajos comparados con otros materiales usados comúnmente en la industria de la construcción. Es de gran importancia que estos materiales de construcción, que con el tiempo han ido evolucionando, puedan ser accesibles para toda la población en general, desde las clases rurales hasta las más altas. En este caso el punto de interés son las clases más necesitadas, las cuales presentan serias dificultades para acceder a estos elementos de construcción en la fabricación de sus viviendas.

El objetivo de esta investigación es utilizar materiales de desecho, como la CCA, como sustituyente en proporciones determinadas de la arena y el cemento; para que de esta manera los costos de producción por bloque sean más económicos y con esto accesibles para la población rural, sin comprometer ninguna de las características físicas y mecánicas del bloque habitual.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

2.1.1 Cemento

Se utilizó un cemento portland tipo I de uso general de la empresa Argos, cuya composición se obtuvo mediante la técnica de fluorescencia y se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del cemento.

Componente	*% en peso*	*Componente*	*% en peso*
CaO	63,99	S	1,01
SiO_2	21,70	P_2O_5	0,18
Al_2O_3	5,44	Na_2O	0,31
Fe_2O_3	4,39	K_2O	0,30
MgO	1,52	Zn	0,02

2.1.2 Ceniza de cascarilla de arroz

La CCA utilizada en esta investigación proviene de la empresa arrocera la Esmeralda ubicada en el municipio de *Jamundí* (Valle), de donde proviene luego de un proceso de combustión controlada. Su composición química fue obtenida por medio de la técnica de fluorescencia y se observa en la tabla 2.

©2015 Universidad Simón Bolívar

Tabla 2. Composición química de la CCA.

Componente	*% en peso*	*Componente*	*% en peso*
SiO_2	91,39	S	0,14
K_2O	2,17	P_2O_5	0,79
CaO	0,39	Na_2O	0,05
Al_2O_3	0,13	Zn	0,02
Fe_2O_3	0,37	Cl	0,04
MgO	0,33	Cr	0,01
MnO	0,17	H2O	4,00

La caracterización de la CCA muestra un porcentaje de sílice amorfa bajo, cuyo valor promedio es de 29,38%, resultado que puede ser consecuencia de un deficiente control durante el proceso de combustión [11]. Sin embargo, se observa que la CCA presentó un porcentaje de perdida al fuego que se encuentra dentro del valor permitido por la norma ASTM C618, que es de hasta el 6% de inquemados. Además, esta CCA con una granulometría pasante tamiz 200, mostró un índice de actividad puzolánica superior al mínimo establecido por la misma norma, que es del 75%, por lo cual, a pesar de su bajo % de sílice amorfa, determinado por el método Patente de Metha se clasifica como una puzolana y por lo tanto es apta para ser usada como una adición activa en la mezcla (Tabla 3).

Tabla 3. Caracterización de la CCA.

Característica	*Resultado*	*Característica*	*Resultado*
Tamaño de partícula inicial	125,27 µm	Índice de Puzolanicidad (28 días)	92,58%
Densidad	2,15 gr/cm^3	Índice de Puzolanicidad (60 días)	99,66%
% de Perdida al fuego	4,09%	% de absorción	5,39 %
% de sílice Amorfa (sin moler)	29,38 %	% de Humedad	0,98%
Peso unitario suelto	0,46 gr/cm^3	Peso unitario apisonado	0,54 gr/cm^3

La caracterización mineralógica de la CCA se llevó a cabo por medio de Difracción de Rayos X (DRX). El difractograma de Rayos X obtenido se muestra en la figura 1, donde se pueden observar picos característicos de sílice semicristalina (Cristobalita), lo cual afecta su actividad puzolánica debido a que solo la sílice en estado amorfo es capaz de reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio resultante de las reacciones de hidratación del cemento para formar productos cementantes estables en medio húmedo y con características resistentes [12]. Este resultado comprueba la baja amorficidad que presentó la ceniza, además demuestra que la ceniza pudo haber alcanzado, durante el proceso de quema en el combustor, temperaturas superiores a 700°C, temperatura en la que empieza la transformación de la ceniza amorfa a cristalina [11] [13] [14] [15].

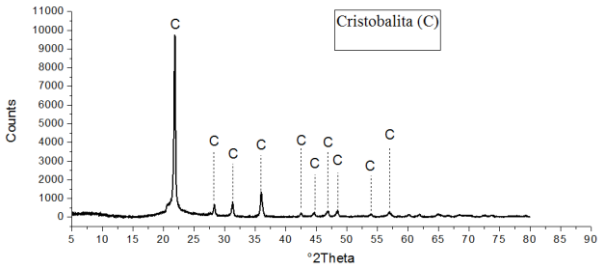


Figura 1. Difractograma de Rayos-X de la CCA.

Tabla 4: Granulometría de la CCA (NTC 77).

Número del tamiz	*Tamaño del tamiz (mm)*	*% acumulado pasante de CCA*	*% acumulado pasante de la arena natural*
3/8"	9,52	100,00	100
4	4,75	100,00	98.96
8	2,36	100,00	97.51
16	1,18	100,00	89.57
30	0,60	98,91	66.95
50	0,30	89,29	29.93
100	0,15	55,84	4.55
200	0,08	27,24	1.62
< 200	0,00	0,00	0.57

©2015 Universidad Simón Bolívar

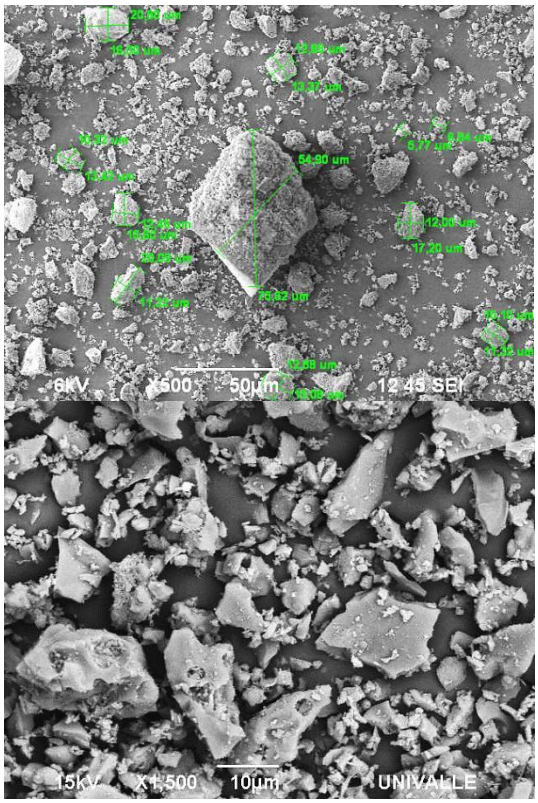


Figura 2. MEB de la morfología de las partículas de CCA (Arriba, x500) (Abajo, x1500).

A través de la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) se pudo observar la morfología de la CCA usada en esta investigación. En la figura 2 se aprecia el efecto de la temperatura de obtención de la puzolana sobre la textura superficial de las partículas, en el caso de las partículas cristalinas esta superficie es lisa y la porosidad es reducida debido a la sinterización ocurrida en la CCA [13] [14] [16].

El estudio granulométrico de la CCA se realizó mediante el uso de dos métodos de caracterización, el primero de acuerdo al procedimiento descrito en la norma NTC 77, y el segundo mediante el uso de granulometría laser. Obteniendo así los resultados mostrados en la tabla 4 y la figura 3.

Observando estos resultados se concluye, que la distribución granulométrica de la CCA se asemeja a la presentada por el agregado fino, por esta razón, es viable realizar la sustitución en diferentes porcentajes por el agregado fino, para que de esta manera esta actúe como fino en la mezcla, sin embargo se observa, que una cantidad considerable de CCA presenta un tamaño menor a 74µm (tamiz 200), por esta razón se realizó una granulometría laser a esta porción del material para estudiar su distribución en este rango de tamaño de partícula (0-74 µm), estos resultados mostraron que el 7,42% de la muestra total presenta un tamaño de partícula menor a 20µm (tabla 4), por lo tanto, esta fracción de CCA se puede considerar como una puzolana [15]. Cabe resaltar que el tamaño promedio de partícula para esta CCA sin ningún tratamiento de molienda es de125,27 µm.

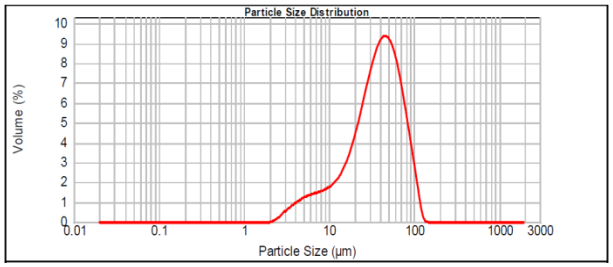


Figura 3: Distribución granulométrica de la CCA (pasante malla 200).

2.1.3 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. La caracterización física y la distribución granulométrica de los agregados utilizados se pueden observar en la tabla 5 y la figura 4.

Tabla 5. Distribución granulométrica de la CCA.

Arena		***Balastrillo***	
Peso unitario suelto	1,58 gr/cm^3	Peso unitario suelto	1,53 gr/cm^3
Peso unitario apisonado	1,69 gr/cm^3	Peso unitario apisonado	1,66 gr/cm^3
Densidad nominal	2,58 gr/cm^3	Densidad nominal	2,55 gr/cm^3
Densidad aparente	2,73 gr/cm^3	Densidad aparente	2,64 gr/cm^3
% de absorción	3,36	% de absorción	2,98

El contenido de impurezas, evaluado mediante la escala colorimétrica de Gardner, presentó un valor de 2, lo cual indica que el agregado puede ser utilizado en la elaboración de las mezclas de concreto. En la figura 4 se observan las curvas granulométricas de diferentes combinaciones arena-balastrillo estudiadas, mostrando que la combinación de agregado fino y grueso que más se

©2015 Universidad Simón Bolívar

ajusta a la curva ideal propuesta por fuller-thompson es la combinación 90% balastrillo y 10% arena. Por esta razón, será esta la combinación arena-balastrillo que se usara en los diseños de mezclas.

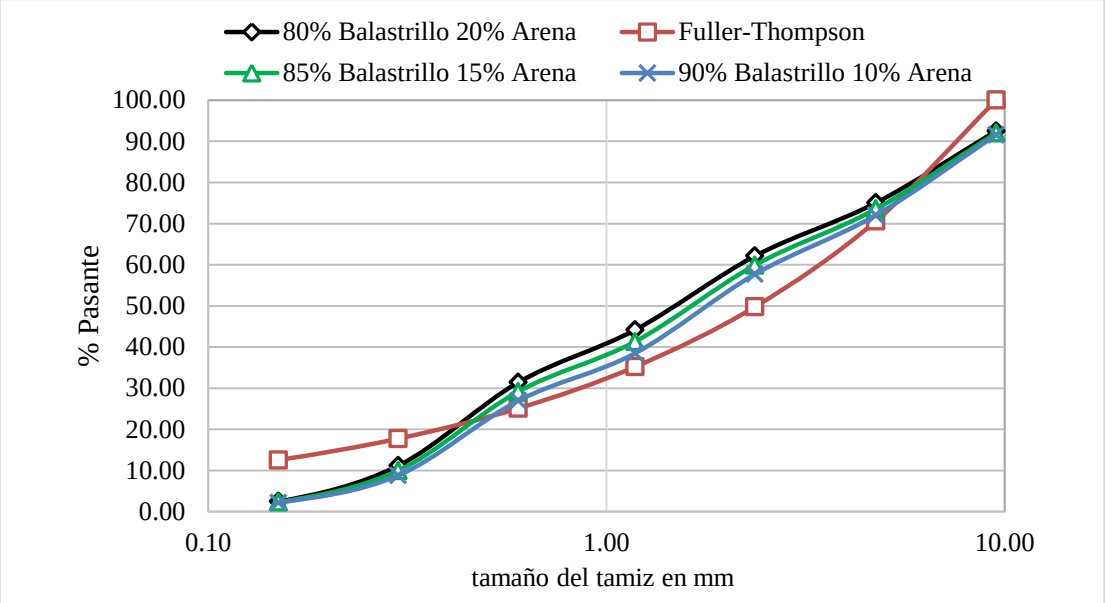


Figura 4. Distribución granulométrica de los agregados.

Tabla 6. Dosificación de las mezclas.

Mezcla	*Cemento (Kg/m^3)*	*Agua (l/m^3)*	*Arena (Kg/m^3)*	*Balastrillo (Kg/m^3)*	*CCA*		*Relación A/C*
					fino (Kg/m^3)	*adición (Kg/m^3)*	
Patrón 1:6	298	119,2	178,8	1609,2	-	-	0,40
Patrón 1:8	298	128,1	238,4	2145,6	-	-	0,43
Fino 10% 1:6	298	119,2	160,92	1609,2	15,95	-	0,4
Fino 20% 1:6	298	119,2	143,04	1609,2	31,90	-	0,4
Fino 30% 1:6	298	119,2	125,16	1609,2	47,85	-	0,4
Fino 10% 1:8	298	128,1	214,56	2145,6	21,26	-	0,43
Fino 20% 1:8	298	128,1	190,72	2145,6	42,53	-	0,43
Fino 30% 1:8	298	128,1	166,88	2145,6	63,80	-	0,43
Adición 10% 1:6	268,2	119,2	178,8	1609,2	-	21,14	0,4
Adición 20% 1:6	238,4	119,2	178,8	1609,2	-	42,29	0,4
Adición 30% 1:6	208,6	119,2	178,8	1609,2	-	63,43	0,4
Adición 10% 1:8	268,2	128,1	238,4	2145,6	-	21,14	0,43
Adición 20% 1:8	238,4	128,1	238,4	2145,6	-	42,29	0,43
Adición 30% 1:8	208,6	128,1	238,4	2145,6	-	63,43	0,43

©2015 Universidad Simón Bolívar

2.2 Diseño de mezclas

Para la fabricación de los bloques se tomó en cuenta las proporciones calculadas por bloque a nivel volumétrico, a partir de esto, se diseñaron dos mezclas, la primera tenía una relación cemento:agregado de 1:6 y la segunda una relación de 1:8; con el fin de determinar la mejor relación costo beneficio del bloque, además de evaluar la CCA como filler y como puzolana. El proceso de mezclado convencional se realizó de la siguiente manera: I) mezcla en seco de los agregados, II) incorporación del cementante, III) adición de agua hasta obtener la consistencia adecuada. Los bloques fueron obtenidos en una vibrocompactadora y curados bajo agua. Cumplidos los días de curado los bloques fueron evaluados a compresión según la norma NTC 673. La dosificación de las mezclas se presenta en la tabla 6.

3. RESULTADOS Y DISCUSSIÓN

3.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión fue determinada de acuerdo al procedimiento descrito en la norma técnica Colombiana NTC 4205. En la Figura 5 se presenta el comportamiento a la compresión a 7 y 28 días de curado de los bloques elaborados cuando la CCA actúa como agregado fino (filler), en donde se puede observar que la tendencia es, que para relaciones cemento:agregado 1:6 con respecto a la relación 1:8 se presentan mejores resultados a la compresión (exceptuando el dato atípico a 7 días con 20% de sustitución), inclusive cuando se sustituye en un 20% el agregado fino por CCA se genera un aumento del 7% en la resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón a los 28 días de curado. Esto es debido a que para una relación de 1:6, existe una mayor cantidad de pasta de cemento por unidad de volumen de concreto, permitiendo así que la acción cementante sea mayor [17]. Por otra parte, la razón por la cual se presenta un incremento en la resistencia a la compresión de la mezcla con un 20% de CCA como fino se debe a que a este porcentaje no existe una disminución apreciable de la cantidad de cemento existente, además de la posibilidad de una dualidad de comportamiento del fino, ya que la CCA, en este caso, cumple como filler por su presencia y características físicas, y como puzolana, en el caso de que las partículas más finas de este material se activen químicamente reaccionando con el hidróxido de calcio liberado en las reacciones de hidratación del cemento, promoviendo la generación de productos de hidratación y como consecuencia una contribución en la resistencia a la compresión de las mezclas [6] [18] [19] [20].

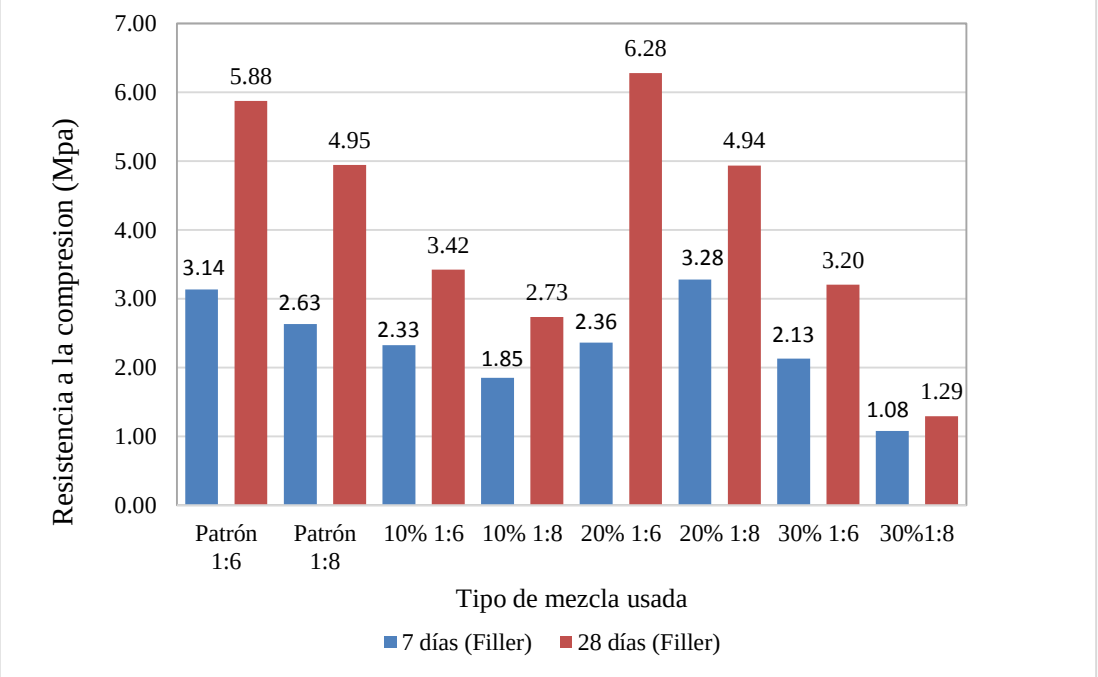


Figura 5. Resistencia a la compresión de los bloques con CCA sustituyendo a la arena como fino.

Estas cenizas presentes como filler muestran una posible dualidad de comportamiento que beneficia de manera importante la resistencia mecánica de los bloques; ya que la misma sustituye de manera efectiva a la arena en la mezcla, pero también tienen muchos finos que muestran un pequeño potencial puzolánico a medida que pasan los días de curado, otorgándole un extra a la mezcla de concreto al contribuir en la generación de propiedades mecánicas [18] [19] [21].

Para la fabricación de bloques empleando la ceniza de arroz como puzolana (figura 6), se encontró que, la mejor relación cemento:agregado sigue siendo 1:6. Además se aprecia que la adición de un 20% de CCA para esta misma relación presenta el mejor comportamiento mecánico respecto a los demás porcentajes de ceniza adicionada. Sin embargo, el efecto de la adición de CCA como puzolana a la mezcla no fue superior al mostrado anteriormente cuando se sustituyó parcialmente por el agregado fino, en dónde inclusive se lograron valores de resistencia mayores a la mezcla referencia. No obstante, es posible lograr valores de resistencia muy similares a la mezcla patrón con la adición del 20% de CCA como reemplazo parcial del cemento portland. La baja actividad puzolánica de esta CCA puede ser atribuida a la naturaleza semicristalina de la misma, al bajo porcentaje de amorficidad como consecuencia de un deficiente proceso de combustión y a su elevado tamaño de partícula [6] [9] [13] [22] [23], sin embargo, cabe resaltar que este residuo agroindustrial fue utilizado sin ningún tipo de tratamiento de activación mecánico o térmico posterior, por lo cual su valorización en la fabricación de bloque no estructurales es viable teniendo en cuenta que con su baja calidad se logran resultados aceptables e inclusive superiores a la mezcla patrón [6] [24].

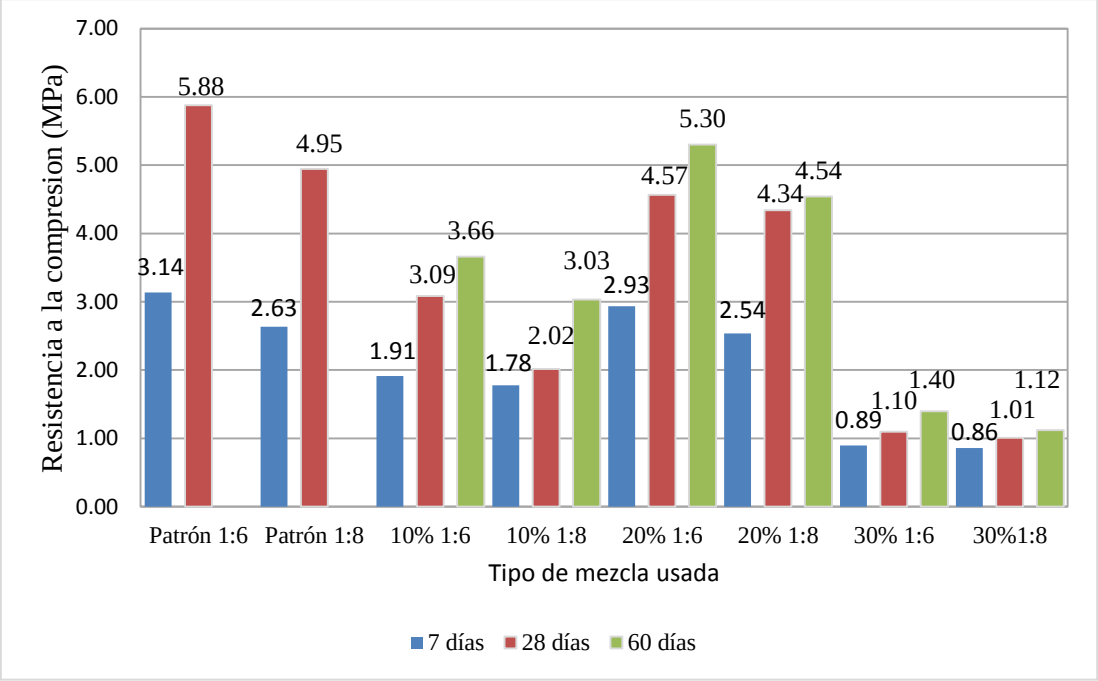


Figura 6. Resistencia a la compresión de los bloques con CCA actuando como puzolana.

En la figura 7, se muestra la influencia del método de mezclado en dos etapas en la resistencia a compresión de las mezclas optimizadas empleando un porcentaje de sustitución del 20% tanto como filler como puzolana. Los resultados obtenidos muestran que el proceso de mezclado en dos etapas, mejora la calidad de los bloques elaborados viéndose reflejado un aumento en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, esto es debido a que este proceso permite un mezclado más homogéneo, ya que se inicia mezclando el 50 % de los componentes permitiendo

©2015 Universidad Simón Bolívar

un mezclado más controlado por la poca cantidad de material y posteriormente al incorpora el material restante es más fácil que este material se mezcle de manera homogénea a la mezcla inicial mejorando así la calidad de la mezcla, inclusive algunos autores afirman que la pasta del material cementicio y agua creada durante la primera etapa de mezclado puede reforzar áreas débiles en los agregados logrando llenar algunos poros y grietas, por lo tanto permite el desarrollo de una zona de interface más resistente entre los agregados y la matriz de concreto [25] [26] [27], mejorando la calidad del concreto en general como se puede observar en la figura 7.

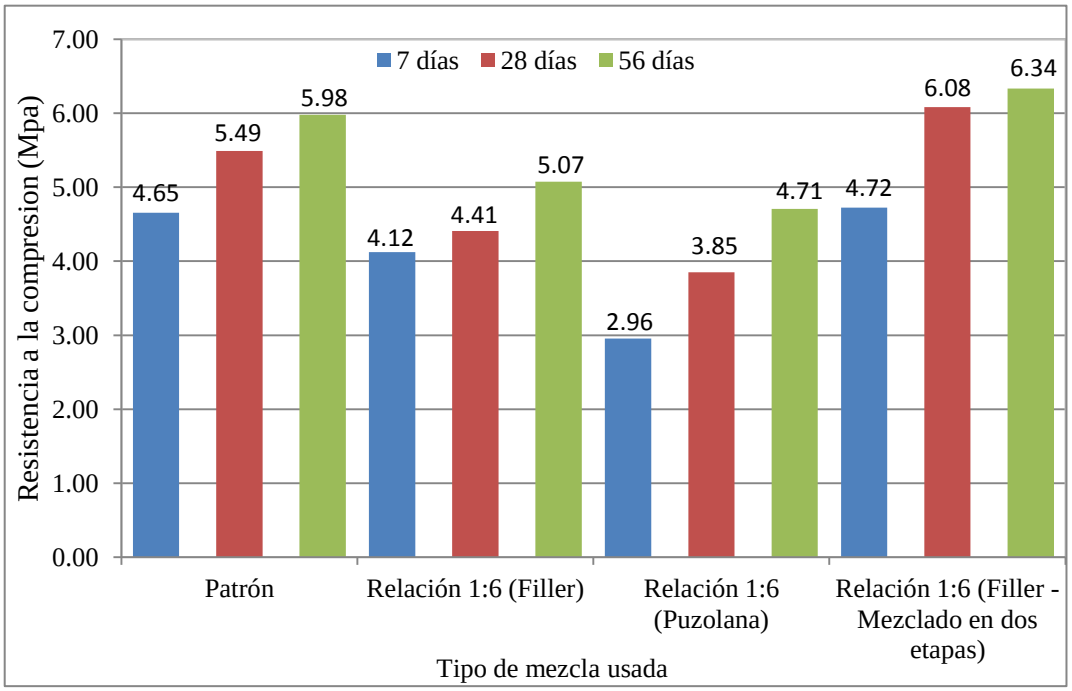


Figura 7. Resistencia a la compresión de los bloques; Influencia del método de mezclado.

Podríamos decir que los ladrillos fabricados con la CCA actuando como puzolana y como filler utilizando el método de mezclado en dos etapas, no cumplen con los estándares mínimos para pertenecer a un elemento constructivo estructural, no obstante, según la norma NTC 4076 "Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto" los bloques para estar dentro de un rango no estructural debe presentar resistencias a la compresión, a los 28 días de curado entre 5 y 6 MPa, por ende se asume que los ladrillos patrones y los mezclados en dos etapas con la CCA actuando como puzolana y como filler son elementos no estructurales de uso interior, ya que cumplen con las resistencias a la compresión mínimas requeridas para un elemento constructivo no estructural, con valores de resistencia de 5,49 MPa y 6,08 MPa respectivamente.

La norma ASTM C129-06 (Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units) fija un valor mínimo de resistencia a la compresión de los bloques huecos de concreto en 3.45 MPa cuando se ensaya la unidad individualmente y 4.14 MPa para un promedio de tres unidades ensayadas al tiempo de despacho al consumidor final. Esta especificación se cumple para los bloques fabricados en este proyecto. 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/cm^2 (2,5 MPa) en húmedo, después de tres días de inmersión (Auroville Earth Institute). La norma Mexicana NMX-C-036 establece una resistencia a la compresión mínima de 40 Kg/cm^2 (4.0 MPa) para bloques estándar de 10x20x40 cm y un % de absorción máximo de 18% para bloques

©2015 Universidad Simón Bolívar

estructurales, igual a la especificación norteamericana. Por lo cual, los bloques huecos obtenidos en este proyecto satisfacen apropiadamente los requerimientos establecidos en dichas normas técnicas.

4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos durante la ejecución de esta investigación se demostró la viabilidad desde el punto de vista mecánico, de producir bloques no estructurales empleando ceniza de cascarilla de arroz de baja amorficidad como reemplazo parcial del agregado fino, resaltando que la utilización de esta CCA permite el reemplazo de hasta un 20% del agregado fino, logrando inclusive valores de resistencia superiores a la mezcla patrón. Además se encontró que el proceso de mezclado en dos etapas mejora aún más la resistencia mecánica de este tipo de concretos, ya que genera incrementos de alrededor del 10% en la resistencia a la compresión, en relación a la muestra patrón.

5. REFERENCIAS

[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]. K. Ganesan, K. Rajagopal, y K. Thangavel. "Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete". Construction and Building Materials 22 (2008). pp. 1675-1683.

[3]. M.F.M. Zain, M.N. Islam, F. Mahmud, y M. Jamil. "Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material". Construction and Building Materials 25 (2011). pp. 798-805.

[4]. Feng, Q., Yamamichi, H., Shoya, M., & Sugita, S. Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. Cement and Concrete Research, 34(3). (2004). pp. 521-526.

[5]. Chopra. D, Siddique. R, y Kunal. "Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash". Biosystems Engineering I 30 (2015). pp. 72-80.

[6]. S.K. Antiohos, V.G. Papadakis, y S. Tsimas. "Rice husk ash (RHA) effectiveness in cement and concrete as a function of reactive silica and fineness". Cement and Concrete Research 61-62 (2014). pp. 20-27.

[7]. 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 (2007), Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

[8]. Díaz, P. y J. Escobar: "Efecto de adiciones puzolánicas en concreto fibrorreforzado". Tesis de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. Santiago de Cali. (2004).

[9]. Ravande Kishore, V. Bhikshma y P. Jeevana Prakash. "Study on Strength Characteristics of High Strength Rice Husk Ash Concrete". Procedia Engineering 14 (2011). pp. 2666-2672.

[10]. Alireza Naji Givi, Suraya. A.R, Farah N.A.A, y Mohamad A.M.S. "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 (2010). pp. 2145-2150.

[11]. Salas A., Ospina M. A., Delvasto S., Mejía de Gutiérrez R: "Study on the pozzolanic properties of silica obtained from rice husk by chemical and thermal process". Phys. stat. sol. (c) 4(11) (2008). pp. 4311–4318.

[12]. Hwang Chao-Lung, Bui Le Anh-Tuan, y Chen Chun-Tsun. "Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete". Construction and Building Materials 25 (2011). 3768-3772.

[13]. Rawaid Khan, Abdul Jabbar, Irshad Ahmad, Wajid Khan, Akhtar Naeem Khan, y Jahangir Mirza. "Reduction in environmental problems using rice-husk ash in concrete". Construction and Building Materials 30 (2012). pp. 360-365.

[14]. B. Chatveera, y P. Lertwattanaruk. "Durability of conventional concretes containing black rice husk ash". Journal of Enviromental Management 92 (2011). pp. 59-66.

[15]. Nguyen Van Tuan, Guang Ye, Klaas van Breugel, y Oguzhan Copuroglu. "Hydration and microstructure of ultra high performance concrete incorporating rice husk ash". Cement and Concrete Research 41 (2011). pp. 1104-1111.

[16]. Salas A., Delvasto S., Mejía de Gutiérrez R., Lange D: "Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete". Cement and Concrete Research 39 (2009). pp. 773–778.

[17]. Ospina M., Mejía de Gutiérrez R., Delvasto S., Monzó J., Borrachero M.V., Payá J: "Modificación de la morfología de la ceniza de

©2015 Universidad Simón Bolívar

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. V. S1 (2) (2009). pp. 577-584.

[18]. Md. Safiuddin, J.S. West, y K.A. Soudki. "Hardened properties of self-consolidating high performance concrete including rice husk ash". Cement & Concrete Composites 32 (2010). pp. 708-717.

[19]. R. Zerbino, G. Giaccio, y G.C. Isaia. "Concrete incorporating rice-husk ash without processing". Construction and Building Materials 25 (2011). pp. 371-378.

[20]. Della, V. Kühn, I y Hotza, D. "Rice husk ash as an alternate source for active silica production". (2002). pp. 818-821.

[21]. A.A. Ramenzanianpour, M. Mahdi Khani, Gh. Ahmadibeni. "The effect of rice husk ash on mechanical properties and durability of sustainable concretes". International Journal of Civil Engineering. Vol. 7, No. 2, (2009). pp. 83-91.

[22]. Alireza Naji Givi, Suraya Abudul Rashid, Farah Nora A. Aziz, Mohamad Amran Mohd Salleh. "Contrution of Rice Husk Ash to the properties of Mortar and Concrete: A Review". Journal of American Science (2010) 6. pp. 3.

[23]. Kunchariyakun. K, Asavapisit. S, y Sombatsompop. K. "Properties of autoclaved aerated concrete incorporating rice husk ash as partial replacement for fine aggregate". Cement & Concrete Composites 55 (2015). pp. 11-16.

[24]. Ganesan, K. "Rice husk ash blended cement : Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete". Water, 22. (2008). pp. 1675-168.

[25]. D. D. Bui, J. Hu, P. Stroeven. "Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete". Cement & Concrete Composites 27 (2005). pp. 357-366.

[26]. Tam. V.W.Y, Gao. X.F, y Tam. C.M. "Comparing performance of modified two-stage mixing approach for producing recycled aggregate concrete". Magazine of Concrete Research, (2006), 58, No. 7, September. pp. 477-484.

[27]. 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 (2005). pp. 1195-1203.

©2015 Universidad Simón Bolívar