

EFECTO DEL MODO DE OBTENCIÓN DE LA SÍLICE AMORFA A PARTIR DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN LAS PROPIEDADES DE DURABILIDAD DEL CONCRETO ARMADO.

RESUMEN

En este artículo se investigó el efecto que la ceniza de cascarilla de arroz tiene sobre las propiedades mecánicas y de durabilidad en el concreto adicionado. Para esto, se hicieron a 28 días de curado ensayos de resistencia mecánica, densidad y porosidad, penetración rápida del ión cloruro, espectroscopía de impedancia electroquímica y resistencia a la polarización. Los resultados demuestran que la ceniza disponible localmente aumenta la resistencia a compresión y reduce la permeabilidad ante agentes agresivos como el ión cloro sólo si se adiciona al concreto en partículas finamente molidas.

PALABRAS CLAVES: Ceniza de cascarilla de arroz, durabilidad en concretos, espectroscopía de Impedancia electroquímica, puzolana.

ABSTRACT

In this article the effect of rice husk ash on mechanics and durability properties of concrete was investigated. At 28 age curing, compressive strength of concrete, rapid chloride ion penetration, electrochemical impedance spectroscopy and polarization resistance were made with the aim of understand such effect. The results show the locally available rice husk ash grows the compressive strength and the permeability by aggressive agents is minimized just if the RHA is added in finely grounded particles.

KEYWORDS: *Rice husk ash, durability, electrochemical impedance spectroscopy, puzzolan.*

1. INTRODUCCIÓN

La ceniza de cascarilla de arroz (CCA) es un residuo agroindustrial de difícil disposición final, esta cascarilla tiene pocas aplicaciones, algunas de ellas son, su uso como sustrato en cultivos, como lecho para animales y como combustible [1,2]. Una aplicación de mayor interés es su utilización como puzolana en el concreto basado en cemento Portland, debido a su alto contenido de sílice en estado amorfo en sus cenizas [3,4]. La obtención de este material no es sencillo, debido a la baja densidad de la cascarilla y segundo a la necesidad de gasificar el 80% de la materia orgánica. Esto obliga a diseñar equipos que garantizan obtener una ceniza altamente amorfa. Adicionalmente se requiere modificar mecánicamente la morfología de estas cenizas ya que su origen orgánico genera partículas irregulares y porosas [5,6].

Se encuentra en la literatura científica [7, 8, 9,10] que la CCA es un excelente material puzolánico, que además de generar incrementos en la resistencia mecánica mejora las propiedades de durabilidad en el concreto.

Pero falta profundizar en un estudio que relacione el modo de obtención de la CCA en las propiedades de durabilidad del concreto.

Fecha de Recepción: 23 Mayo de 2007
Fecha de Aceptación: 3 Agosto de 2007

SERGUEI SOLARTE

Estudiante de Pregrado
Ingeniería de Materiales.
Universidad del Valle
sergeisolarte@hotmail.com

MICHEL OSPINA

Ingeniero de Materiales.
Estudiante de Doctorado
Ingeniería de Materiales
Universidad del Valle
michelospina@yahoo.com

WILLIAM APERADOR

Físico, MSc.
Estudiante de Doctorado
Ingeniería de Materiales
Universidad del Valle
wiapch@yahoo.es

RUBY MEJIA DE GUTIERREZ

Doctor en Ciencias Químicas
Profesor Titular
Universidad el Valle
Rudeguti@yahoo.com

En este artículo se muestra como la amorficidad no es una variable tan significativa en el comportamiento mecánico del concreto a edades iniciales (7 y 28 días). Siendo mucho más significativo el efecto de la molienda

Mostrando la importancia del modo de obtención de la CCA en las propiedades del concreto adicionado, En este estudio se realizaron mediciones de la resistencia mecánica a compresión y en durabilidad resistencia a la polarización, Espectroscopia de impedancia. Permeabilidad a cloruros, densidad y porosidad.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiales utilizados

Se utilizó un cemento disponible en la región del Valle del Cauca (Colombia) con las características descritas en la tabla 1.

Composición química OPC usado para la investigación

Componentes	Especificación
Óxido de Magnesio (MgO)	Máx. 2.0
Residuo insoluble (%)	Máx..3.0
Aluminato tricálcico (C3A)	Máx. 7.5
% Cal libre	Máx. 1.5
% C3S + C2S	Min. 70
% C3S	Min 58
% C4AF	Máx. 12.5
Pérdida por ignición (%)	Máx. 3.0
Trióxido de azufre (SO3)	1.9 ± 0.5
Equivalente Alcalino.	Máx. 0.6

Tabla 1: Composición química OPC

La cascarilla de arroz utilizada para la obtención de la ceniza fue adquirida de un molino de arroz de la región del Valle del Cauca (Colombia). La ceniza utilizada fue de 4 tipos descritos en la tabla 2. El Humo de sílice que se utilizó fue el producto comercial SikaFume.

Ceniza de cascarilla de arroz usada para la investigación

Tipo	Descripción
CCA1	ceniza fina amorfa, 10% adición
CCA2	ceniza fina amorfa, 20% adición
CCA3	ceniza fina cristalina 10% adición
CCA4	ceniza fina cristalina 20% adición
CCA5	ceniza gruesa amorfa, 10% adición
CCA6	ceniza gruesa cristalina 10% adición
CCA7	ceniza gruesa cristalina 20% adición

Tabla 2: Tipos de ceniza utilizada

El agregado grueso y fino se obtuvo localmente, cada uno con tamaño máximo de 3/4" y 3/8" respectivamente.

Para la realización del concreto se evaluaron las anteriores cenizas de cascarilla de arroz con porcentajes de adición de 10% y 20%, que posteriormente fueron comparadas con un concreto sin adición puzolánica y otro adicionado con humo de sílice al 10%. En la tabla 3 y 4 se puede observar el diseño de los diferentes concretos utilizados.

Mezcla	Cemento	HS	Ceniza
			kg/m ³
OPC	423		
HS		42.3	
CCA1	380.7		42.3
CCA2	338.4		84.6
CCA3	380.7		42.3
CCA4	338.4		84.6
CCA5	380.7		42.3
CCA6	380.7		42.3
CCA7	338.4		84.6

Tabla 3: Diseño concreto

Mezcla	A. Grueso	A. Fino	Agua	Aditivo	Slump
			kg/m ³	%	pulgada
OPC	948.6	875.7	203	0	3 3/4
HS	948.6	875.7	203	0.35	3 1/2
CCA1	948.6	875.7	203	0.3	3 3/4
CCA2	948.6	875.7	203	0.35	2 1/2
CCA3	948.6	875.7	203	0.35	3 3/4
CCA4	948.6	875.7	203	0.4	4
CCA5	948.6	875.7	203	0.4	3 1/4
CCA6	948.6	875.7	203	0.3	2
CCA7	948.6	875.7	203	1	0

Tabla 4: Diseño concreto

2.2 Métodos de ensayo

Resistencia la compresión. Se siguió la norma ASTM C39, en el cual se realizaron cilindros de 3 x 6 pulgadas y se ensayaron a 7 y 28 días de curado.

Densidad y Porosidad. Se siguió la norma ASTM C642-97 en la cual se utilizaron cilindros de concreto, donde se tomó la medida de peso en seco, peso húmedo saturado, peso húmedo después de ebullición y masa aparente, a partir de esto se calculó la porosidad y densidad del concreto endurecido a 28 días de curado.

Ensayos de durabilidad

Técnicas electroquímicas. La caracterización electroquímica se realizó en un equipo de electroquímica GAMRY PC-14 mediante las técnicas de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica (EIS) y resistencia a la polarización lineal a temperatura ambiente, empleando una celda compuesta por el electrodo de trabajo con un área expuesta de 1 cm², un electrodo de referencia de Ag/AgCl y un alambre de platino como contra electrodo en una solución de agua destilada. Los diagramas de Bode se obtuvieron realizando barridos de frecuencia en el rango de 100 kHz hasta 0,001 Hz, empleando una amplitud de la señal sinusoidal de 10 mV. Los diagramas de resistencia a la polarización lineal se obtuvieron en un rango de voltaje de ±20mV. Para esto se utilizaron cilindros de concreto de 3 x 6 pulgadas con una varilla de acero corrugado de bajo carbono de 1/4" de diámetro embebida a 6 pulgadas en la matriz de concreto.

Ensayo de penetración rápida de ión cloruro. Se realizaron las mediciones con la maquina de ensayos PROOVE-IT GERMANN INSTRUMENT. Para esto se utilizaron cilindros de 76.2 mm de diámetro y 50mm de espesor con una área expuesta es de 60mm, siguiendo la norma C1202-97. Una de las mitades del contenedor se carga con NaCl 3.5% y se conecta al terminal negativo de la fuente, la otra mitad se carga con Ca(OH)₂ saturado y conectado al terminal negativo de la fuente. La corriente es medida por segundo hasta alcanzar 6h.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Resistencia la compresión.

La tabla 5 muestra los resultados de la resistencia a la compresión de los concretos reemplazados con CCA a 7 y 28 días de curado. De la tabla, se encuentra que para todas las mezclas la resistencia aumenta con la edad. A los 7 días de curado se puede observar que el concreto con cenizas de alto porcentaje de cristalinidad su resistencia es elevada, incluso mayores que la ceniza amorfa y el humo de sílice, este fenómeno se puede atribuir a que la ceniza cristalina tiene efecto de relleno, haciendo al concreto mas denso y menos poroso, incrementando así su resistencia mecánica. A los 28 días de curado, se observa que todos los concretos con CCA de tamaño de partícula fina tienen mayor resistencia que el patrón y en algunos casos igualando y superando al humo de sílice; sin embargo, todos los concretos con reemplazo de ceniza gruesa reportaron valores en resistencia menores que el concreto patrón. A los 28 días, se puede observar el efecto puzolánico de la ceniza amorfa, debido a que para el concreto con reemplazo de 10% y 20% el aumento en resistencia fue de 9% y 18% respectivamente, mientras que la ceniza cristalina con reemplazo de 10% y 20% fue de 17% y 7%.

Mezcla	Resistencia compresion (MPa)	
	7 días	28 días
OPC	30.27	49.75
HS	35.03	54.21
CCA1	31.61	54.23
CCA2	27.95	58.78
CCA3	40.45	58.45
CCA4	32.41	53.7
CCA5	27.98	44.36
CCA6	23.68	39.07
CCA7	18.6	33.47

Tabla 5: Resistencia a la compresión

Densidad y Porosidad.

La tabla 6 y 7 muestran los resultados de densidad y porosidad de los concretos reemplazados con CCA a 28 días de curado. De acuerdo a lo datos obtenidos, la mayoría de estos concretos tuvieron una mayor densificación que el humo de sílice y el concreto patrón.

Los concretos con reemplazos de 10 y 20% de ceniza fina con mayor porcentaje de cristalinidad fueron los que mas densificaron su matriz cementicia con 2.26 g/cm^3 y 2.31 g/cm^3 , mientras que la densidad del concreto patrón fue de 2.21 g/cm^3 . Los valores de porosidad son coherentes con los valores anteriores, siendo estos los concretos con menos porcentaje de poros permeables 16.7% y 16.4% respectivamente. Con estos resultados de densidad y porosidad se explica el efecto de relleno antes mencionado cuando se observaba el efecto de la alta

resistencia a edades tempranas observadas en estas mismas mezclas.

Al igual que el concreto ceniza fina cristalina (10% reemplazo), pero con efecto puzolánico, el concreto con la ceniza fina amorfa con reemplazos del 20% logra densificar la matriz obteniendo los mismos resultados de 2.26 g/cm^3 pero con mayor porcentaje de poros permeables.

Densidad seca del concreto reemplazado con CCA

Muestra	Densidad g/m3
OPC	2.21
HS	2.23
CCA1	2.21
CCA2	2.26
CCA3	2.26
CCA4	2.31
CCA5	2.18
CCA6	2.21
CCA7	2.25

Tabla 6: Densidad del concreto adicionado

Porosidad del concreto reemplazado con CCA

Muestra	% Poros permeables
OPC	17.87
HS	17.15
CCA1	18.66
CCA2	17.43
CCA3	16.74
CCA4	16.48
CCA5	16.92
CCA6	17.91
CCA7	17.87

Tabla 7: % poros permeables del concreto adicionado

Resultados de durabilidad

Ensayo de penetración rápida de ión cloruro.

La tabla 8 muestra los resultados del ensayo de penetración rápida del ión cloruro en el concreto reemplazado con CCA a 28 días de curado. De la tabla, se puede observar que en general el concreto tiene una buena respuesta frente a este ion, sin embargo, se puede observar que el concreto con ceniza fina presenta mejor comportamiento frente a este ión incluso menor permeabilidad que el concreto con adición de Humo de Sílice, a excepción de CCA1. por otra parte, en el concreto con adiciones de ceniza gruesa solo CCA5 y CCA7 presentan un comportamiento de baja permeabilidad con 561 y 681 coulombs respectivamente, a pesar de no presentar mejoría en comparación a los concretos anteriores, si tienen mejor comportamiento en comparación al concreto patrón (715 coulombs).

Ensayo de permeabilidad del ion cloruro

Muestra	Carga (Coulombs)	Clasificación
OPC	2218.05	Moderada
HS	1463.66	Baja
CCA1	1982.46	Baja
CCA2	1365.91	Baja
CCA3	1303.26	Baja
CCA4	1273.18	Baja
CCA5	1406.02	Baja
CCA6	2305.76	Moderada

Tabla 8: resultados permeabilidad ion cloruro

Espectroscopia de impedancia electroquímica.

La figura 1 representa las curvas del diagrama de Nyquist de los concretos adicionados con CCA a 28 días de curado.

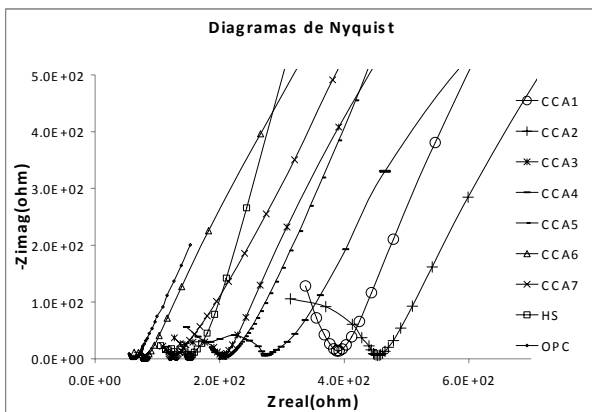


Figura 1: espectro de impedancia electroquímica.

De la intersección con el eje de la impedancia real, se entiende que entre mayor sea su desplazamiento hacia la derecha mayor es la resistencia del concreto expuesta al deterioro. Con relación a lo anterior, todos las muestras tienen mejor comportamiento que el concreto patrón, se destaca que todas las muestras con ceniza fina tienen mejor comportamiento que el concreto con humo de sílice, por otra parte, ninguna de las mezcla con ceniza gruesa dieron resultados mejores que los de humo de sílice.

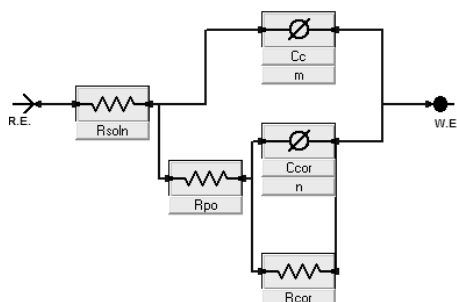


Figura 2: circuito equivalente de los concretos analizados.

En la figura 2 observamos el circuito equivalente de las probetas de concretos que se estudiaron en este trabajo, en este circuito observamos la resistencia a la solución que para este caso es el valor de la solución agua destilada (153Ω), luego encontramos una resistencia denominada a la doble capa que está en paralelo con un capacitor que se forma entre el acero y el concreto, entre la resistencia a la polarización y el electrodo de trabajo encontramos dos elementos adicionales una resistencia denominada a la corrosión y un capacitor en paralelo con esta resistencia estos dos elementos se deben a los constituyentes del concreto, los valores de la resistencia a la corrosión y la resistencia a la polarización se suman para hallar los valores de R_p la cual se compara con los valores obtenidos con la técnica de resistencia a la polarización lineal.

Resistencia a la polarización

La tabla 9 muestra los datos obtenidos del ensayo de Resistencia a la polarización realizados a los concretos adicionados con CCA a 28 días de curado.

Resistencia a la polarización del concreto con CCA	
Muestra	R_p (Ohm)
OPC	729.9
HS	1951
CCA1	3020
CCA2	2730
CCA3	2693
CCA4	842.4
CCA5	885.5
CCA6	2358
CCA7	1809

Tabla 9: resultados resistencia a la polarización

Estos valores de resistencia a la polarización hallados con esta técnica fueron comparados y promediados con los hallados con la técnica de espectroscopia de impedancias electroquímica. Los valores de resistencia a la polarización nos sirven para poder tener una idea clara del comportamiento que tienen estos concretos frente a fenómenos corrosivos debido a que la velocidad de la corrosión es inversamente proporcional al valor de la resistencia a la polarización. De acuerdo a la tabla 9, se observa que todos los concretos adicionados tienen mayor resistencia a la polarización que el concreto patrón; sin embargo, son los concretos con ceniza fina los que dieron mejores resultados con relación al concreto patrón y al concreto con humo de sílice a excepción de CCA4 que dio un valor muy similar al patrón.

4. CONCLUSION

En la presente investigación se encontró que la ceniza obtenida de la cascarilla de arroz disponible localmente tiene la capacidad de mejorar algunas propiedades en el concreto en sus diferentes edades de curado. Además es

importante el efecto que tiene la granulometría de la ceniza debido a que la ceniza de mayor finura genera incrementos en resistencia mecánica a 28 días con respecto al patrón, en términos generales los concretos adicionados con CCA obtiene resistencias superiores al concreto patrón y en algunos casos superiores al concreto adicionados con humo de sílice. De igual manera, el estudio de durabilidad reveló que estas cenizas finas reducían la permeabilidad frente al ion cloruro y también aumentaban la resistencia a la polarización. Por otra parte, se encontró que estas cenizas densifican la matriz lo que corrobora en parte el buen desempeño alcanzado por los concretos adicionados con CCA.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al Centro de Excelencia en Nuevos Materiales (CENM) y a la Universidad del Valle por el soporte prestado en la elaboración de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CARDONA, B., GOMEZ, I. Obtención de fases del cemento utilizando desechos agrícolas e industriales. CIENCIA UANL / Vol. V, No. 2, Abril-Junio 2002.
- [2] V.I.E. Ajiwe, C.A. Okeke, F.C. Akigwe A preliminary study of manufacture of cement from rice husk ash. En: Bioresource Technology, 73 (2000); pp. 37-39.
- [3] Jose James, M. Subba Rao. Reactivity of rice husk ash. Cement and Concrete Research. Vol. 16, pp. 296-302, 1986.
- [4] S.K. Agarwal. Pozzolanic activity of various siliceous materials. Cement and Concrete Research. Vol. 36 (2006); pp 1735– 1739.
- [5] Byung-Dae Park, Seung Gon Wi, Kwang Ho Lee, Adya P. Singh, Tae-Ho Yoon, Yoon Soo Kim. Characterization of anatomical features and silica distribution in rice husk using microscopic and micro-analytical techniques. Biomass and Bioenergy. Vol. 25 (2003); pp 319 – 327.
- [6] R. Jauberthie, F. Rendell, S. Tamba, I. Cisse. Origin of the pozzolanic effect of rice husks. Construction and Building Materials. Vol. 14 (2000), pp. 419-423.
- [7] Muhammad Shoaib Ismail, A. M. Waliuddin. Effect of rice husk ash on high strength concrete. Construction and Building Materials, Vol. 10, No. I, pp. 521-526, 1996.
- [8] N. FENG Qing-ge, LIN Qing-yu, YU qi-jun, ZHAO San-ying, YANG Lu-feng, Shuichi Sugita. Concrete with highly active rice husk ash. Journal of Wuhan University of Technology. Vol. 19 (2004).
- [9] JING HU, PIET STROEVEN. Properties of the Interfacial Transition Zone in Model Concrete. INTERFACE SCIENCE. Vol. 12 (2004); pp 389–397.
- [10] Gemma Rodríguez de Sensale. Strength development of concrete with rice-husk ash. Cement and Concrete Composites. Vol. 28 (2006); pp. 158–160.