

EVALUACIÓN DE LA SILICE OBTENIDA DE UN SUBPRODUCTO INDUSTRIAL EN PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND

EVALUATION OF THE SILICA OBTAINED FROM AN INDUSTRIAL BY PRODUCT IN PASTES AND MORTARS OF PORTLAND CEMENT

Diana Maricel Rendón¹
Michel Angelo Ospina²
Ruby Mejía de Gutiérrez³

¹ Ingeniera de Materiales, Universidad del Valle, Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria- ASTIN - SENA, Colombia, dianamaricel@gmail.com

² Ingeniero de Materiales, Ph.D Materiales, Director de Investigación y Desarrollo, Arrocera la Esmeralda, Escuela de Ingeniería de Materiales -Facultad de Ingeniería- Universidad del Valle, Colombia., michelospina@yahoo.com.ar

³ Ph.D en Ciencias Químicas, Directora de Investigación de Materiales Compuestos Universidad del Valle, Colombia, rudeguti@yahoo.com

Resumen

En este trabajo se presentan resultados de propiedades tales como resistencia a la compresión y fluidez en mortero. Adicionalmente, consistencia, tiempo de fraguado y viscosidad en pastas. Todas estas propiedades fueron evaluadas con la adición de una puzolana artificial como es la ceniza de cascarilla de arroz (CCA), la cual es un sub producto agro-industrial de una arrocería colombiana. La CCA se obtuvo a partir de un proceso térmico y de molienda.

Palabras Claves: Ceniza de cascarilla de arroz (CCA), puzolana, Reología.

Abstract

In the present paper, the results of properties such as compression strength and fluidity in mortar; along with consistency, setting times and viscosity in pastes are shown. All these properties were tested with the addition of an artificial pozzolan like rice husk ash (RHA), which is an agro industrial by product of a Colombian rice processor. The RHA was obtained from a thermal and milling process.

Keywords: Pozzolan, Rheologic, Rice husk Ash (RHA)

Recibido: Noviembre 05 de 2009

Aceptado: Diciembre 23 de 2009

1. Introducción

Durante los últimos 60 años el estudio de la fabricación y utilización del cemento Portland ha abarcado enfoques cada vez menos empíricos y más científicos. A raíz de esto, los procesos de producción se han mejorado, lo que genera ahorros de energía superiores al 40%, sin mencionar la reducción de emisión de contaminantes (Escalante, 2002).



Figura 1. Cascarilla de Arroz

La producción de cemento es un proceso de alta demanda energética de combustibles (≈ 4.000 kJ/kg cemento, 25% de pérdidas) y con alta emisión de contaminantes ($0,85 - 1$ kg CO_2/Kg cemento) por descarbonatación de materia prima y uso de combustibles (Gutiérrez, 2002). Las restricciones ambientales impuestas a las cementeras son cada vez más estrictas (Delgado, 2000), lo que conduce a la optimización de procesos o a la búsqueda de alternativas para la resolución de los diversos problemas y necesidades actuales.

El empleo de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) como aditivo puzolánico ayuda a reducir el impacto ambiental causado por la producción del cemento (Zapata, 2002), en la medida que permite el reemplazo parcial de éste en los materiales cementicios. Adicionalmente, la cascarilla de arroz es un subproducto agroindustrial de difícil disposición, comúnmente utilizado como combustible (Escalante, 2002).

Todavía es muy poco el desarrollo industrial que se presenta en cuanto al uso de la cascarilla de arroz como un aditivo en el cemento Portland. De igual manera, se desconocen los beneficios que se pueden obtener con este tipo de materiales (Sanguinetti, 2000).

Hasta la fecha no se encuentran estudios realizados sobre el comportamiento reológico de pastas y morteros de cemento Portland adicionados con sílice amorfa obtenida mediante las cenizas de la cascarilla de arroz o de cómo se ha logrado solucionar algún problema referente a las propiedades reológicas de este tipo de materiales.

La finalidad de este proyecto es contribuir con el estudio de las propiedades reológicas para lograr determinar el comportamiento que presentan diferentes pastas y morteros cuando se emplea sílice amorfa (obtenida de la pirólisis de la cascarilla de arroz) como aditivo, para poder predecir la

maneabilidad que pueden llegar a presentar estos materiales compuestos cementicios adicionados.

2. Procedimiento Experimental

2.1 Materiales Utilizados

Apartir de dos tratamientos térmicos aplicados a una cascarilla de arroz nacional de composición química: 60% lignina, 40% celulosa y 20% ceniza (90% de SiO_2) se obtuvieron sílices amorfa y cristalina, las cuales fueron incorporadas en pasta y morteros como reemplazo de cemento. Los morteros correspondieron a mezclas en proporción 1:2,75 de cementante: agregados finos preparados a partir de cemento Portland tipo III (ver Tabla 1) La adición puzolánica se manejó como reemplazo del cemento en un 10%, con una relación agua/cemento de 0,67 en morteros y 0,3 en pastas.

Tabla 1. Principales propiedades del cemento Portland tipo III

Cemento	Composición Química				Finura Blaine cm^2/g
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	
Tipo III	62%	13%	9%	8%	4069

La ceniza de cascarilla de arroz (ver Figura 2) se produjo sometiéndola a diferentes tratamientos termomecánicos (estas variables se observan en la Tabla 2). Las cenizas obtenidas se caracterizaron realizando porcentaje de sílice amorfa y pérdida al fuego, donde la CCA 1 presentó un porcentaje de sílice amorfa de 83,26% y pérdida al fuego del 2,82%, mientras que para CCA 2 el porcentaje de sílice

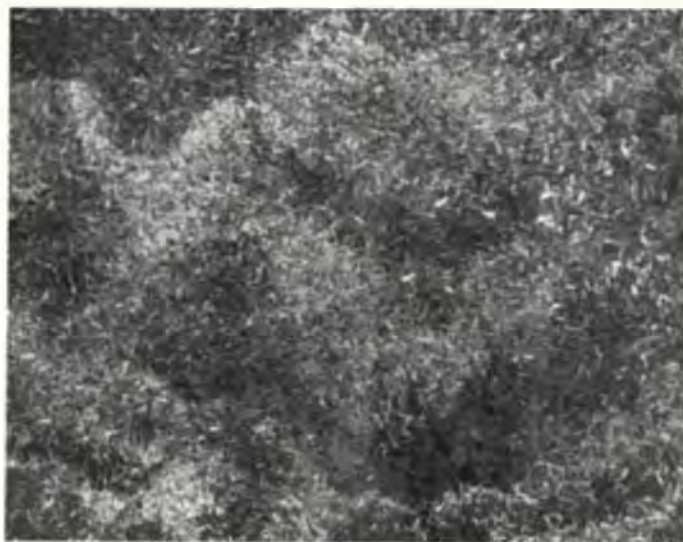


Figura 2. Ceniza de Cascarilla de Arroz

amorfa fue de 46,84% y pérdida al fuego del 0,72%.

Para efectos de comparación, se utilizó humo de sílice densificado (HS). Este material presentó un contenido de SiO_2 mayor al 90%, pérdida al fuego menor al 5%, una superficie específica superior al $30\text{m}^2/\text{g}$ y un porcentaje de humedad de aproximadamente el 5%.

A las diferentes mezclas de pastas y morteros con adiciones de CCA también se les añadió un aditivo de tercera generación conocido como Sika Viscocrete 5600 (reductor de agua de ultra alto poder). La adición de este plastificante en las pastas y morteros se realizó en proporciones del 0,2% y 0,3% del peso del cementante respectivamente.

Tabla 2. Parámetros para la producción de Silice amorfa y cristalina

Parámetros	CCA 1	CCA 2	CCA 3	CCA 4
Temperatura de Quema	550	700	550	700
Tiempo (hr)	3	1	3	1
Tiempo de Molienda (min)	0	0	720	720

En la Tabla 3 se presentan los datos del tamaño medio de partícula de los diferentes tipos de CCA, HS y cemento utilizado. Estas mediciones se realizaron por granulometría láser.

Tabla 3. Tamaño medio de partícula de los materiales utilizados

Muestras	Tamaño medio de partícula (μm)
Cemento	17,897
CCA 1	59,212
CCA2	67,038
CCA 3	8,693
CCA 4	8,616
HS	21,660

2. Métodos de Ensayo

2.2.1 Resistencia a Compresión en Morteros

Para la medición de la resistencia mecánica a compresión se fabricaron cubos de 50mm de lado y se midió la resistencia a compresión a 7, 14 y 28 días de curado.

2.2.2 Fluidez en Morteros

Este procedimiento se realizó en una mesa de flujo estandarizada, como la definen las normas ASTM C-87, C-109 y C -185.

2.2.3 Consistencia de Pastas

Por medio del aparato Vicat, según lo especificado en las normas ASTM C-91, C-187, C-191 se logró determinar la consistencia de las pastas adicionadas con CCA y el HS; el cemento y sus diferentes combinaciones, incluyendo las mezclas donde se utilizó el aditivo superplastificante.

2.2.4 Tiempo de Fraguado en Pastas

Se utilizaron las mismas mezclas que para la consistencia en morteros, siguiendo la norma ASTM C-91, C-141, con ayuda del aparato Vicat.

2.2.5 Medición de la Viscosidad

La medición de la viscosidad se realizó por medio de un viscosímetro rotacional Brookfield, con un spindle HB5. En algunas mezclas con alta fluidez se utilizó el spindle HB4. Para cada uno de los spindles se realizaron dos procedimientos: en el primero se varió la velocidad de corte, y en el segundo, la velocidad se dejó constante -100 rpm-.

3. Resultados y Análisis

3.1 Resistencia a Compresión

La Tabla 4 presenta los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de las mezclas de morteros adicionadas con las diferentes CCA, HS, con reemplazos del 10% y el aditivo superplastificante con un porcentaje de adición del 0,2%.

En la Figura 3 se observa que tanto la CCA 1, como la CCA

Tabla 4. Resistencias a compresión de las diferentes mezclas

Mezclas	A/C	Resistencia a Compresión MPa		
		7 días	14 días	28 días
Patrón	0,67	18,046	21,939	23,617
HS	0,67	13,059	19,032	19,381
CCA 1	0,67	9,170	13,746	23,068
CCA 2	0,67	10,122	12,146	17,377
CCA 3	0,67	19,400	19,409	25,299
CCA 4	0,67	19,057	20,137	31,941
HS a*	0,67	12,628	15,821	25,699
CCA 1a	0,67	11,064	13,075	14,905
CCA 2a	0,67	13,323	13,445	16,400
CCA 3a	0,67	15,198	22,721	28,958
CCA 4a	0,67	18,002	19,064	25,598

* a: aditivo superplastificante, HS: humo de sílice, CCA: Cenilla de Cascarilla de Arroz

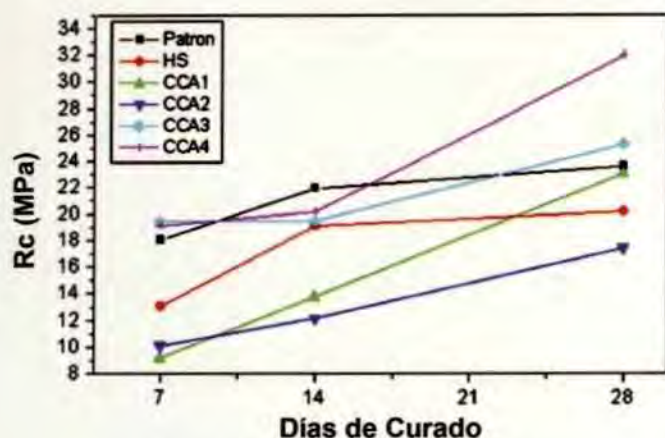


Figura 3. Resistencia a compresión sin aditivo

2 no presentaron un buen comportamiento en la resistencia a compresión, ya que no superaron ni al patrón ni al humo de sílice. Mientras que la CCA 3 y la CCA 4 presentaron un comportamiento muy similar; aunque la CCA 4 (sílice altamente cristalina con doce horas de molienda), presentó a 28 días de curado una mayor resistencia compresión en comparación con el patrón y el humo de sílice. Lo anterior es un poco controversial ya que este tipo de sílice no posee gran actividad puzolánica, lo cual demostró la importancia que tiene la molienda en este tipo de adición.

En la Figura 4 se presenta el comportamiento resultante de la adición del aditivo súper plastificante a las mezclas. La incorporación del súper plastificante a los morteros adicionados con CCA 1 y CCA 2 produjo un incremento en las resistencias a compresión, ya que sin la incorporación de este aditivo las resistencias de estas mezclas son muy pobres, mientras que para la CCA 4 no fue de gran ayuda debido a que presentó cierta disminución en las resistencias a compresión. Por el contrario, para la CCA 3, con la incorporación del aditivo se obtuvo un incremento sustancial en la resistencia a compresión gracias a que esta ceniza posee una gran reactividad puzolánica y a que este tipo de

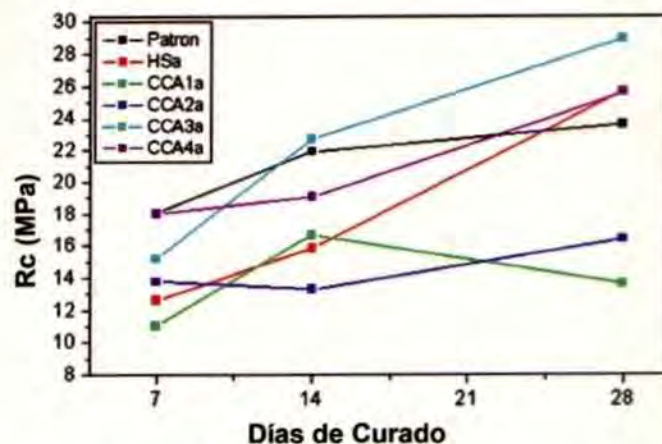


Figura 4. Resistencia a compresión con aditivo

aditivos permite una óptima dispersión del cementante.

Adicionalmente, se presentó un comportamiento no esperado con el humo de sílice, ya que los resultados de resistencia a compresión fueron menores en comparación con la mezcla patrón. Esto se atribuye a que el cemento presenta una alta finura en tamaño de partículas, mientras que el humo de sílice en este caso posee un tamaño de partícula superior, lo cual disminuye su dispersión.

En la Figura 5 se presentan los valores obtenidos del índice de actividad puzolánica medido a 28 días de curado para cada una de las mezclas realizadas, se observa que todas las CCA sometidas a un proceso de molienda de doce horas, con y sin aditivo, presentaron una superioridad en actividad puzolánica en comparación con el humo de sílice.

La CCA 1, la cual no se sometió al proceso de molienda, presentó un valor mayor al humo de sílice, dado que este material posee un valor de amorficidad elevado (83,26%). De antemano se esperaba que la CCA 2 no presentara un alto índice de actividad puzolánica debido a que esta sílice es cristalina, dado que para su obtención se trabajó a una temperatura muy elevada, generando que los micro-poros presentes en la cenizas de cascarilla de arroz se cerraran y no permitieran la liberación de la materia orgánica presente en ella, lo cual hace que no se de una buena actividad puzolánica.

3.2 Propiedades Reológicas

3.3 Fluidéz en Morteros

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos para la fluidez en cada una de las mezclas. Estos datos se encontraron a partir de la realización del ensayo de la mesa de flujo. De los resultados obtenidos se evidenció que tanto

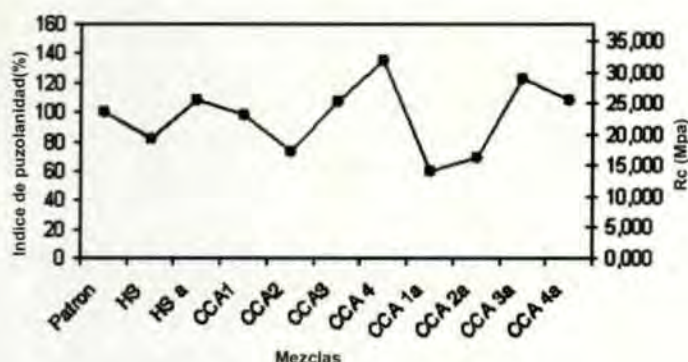


Figura 5. Comparación del índice de actividad puzolánica con la resistencia a compresión

Tabla 5. Propiedades reológicas medidas en pastas adicionadas con los diferentes materiales

Mezclas	Fluidez (%)	Consistencia (mm)	Viscosidad a 100 rpm*
Patrón	153,9	11	5025
HS	56,5	7	7957
HS a	149,0	11	7283
CCA 1	24,0	1	--
CCA 2	20,0	4	--
CCA 3	144,1	3	8331
CCA 4	129,3	19	4107
CCA 1a	94,9	3	3858
CCA 2a	60,4	7	2764
CCA 3a	240,6	9	4057
CCA 4a	224,8	40	3018

* Se trabajó con el Spindle 5

la mezcla CCA 1 (sílice amorfa sin molienda) como la CCA 2 (sílice cristalina sin molienda) no superan la fluidez que presentaron la mezcla del patrón y el humo de sílice. Por otro lado, la CCA 3 y la CCA 4 mostraron elevados incrementos en la fluidez debido al proceso de molienda, la diferencia de fluidez que se presentó, es debido a que las sílices en ningún proceso de molienda reflejaban una gran cantidad de poros, lo que es característico de este tipo de material, no obstante estas absorbían el agua generando una pasta seca y sin cohesión, pero para sílices con molienda causó que este proceso disminuía la cantidad de poros presentes, logrando una mayor fluidez.

3.4 Consistencia en Pastas

En la Tabla 5 se observa cómo la adición de CCA redujo significativamente la penetración en el ensayo de

Tabla 6. Tiempos de inicio de fraguado para las diferentes mezclas

Mezcla	Tiempo (min)
Patrón	155
HS	75
HS a	135
CCA 1	75
CCA 2	30
CCA 3	105
CCA 4	120
CCA 1a	135
CCA 2a	150
CCA 3a	135
CCA 4a	160

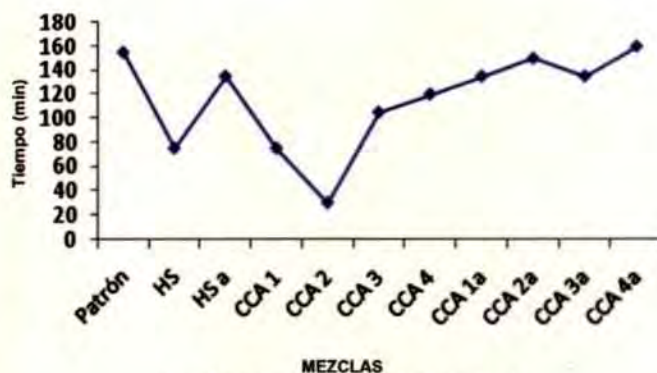


Figura 6. Tiempos de inicio de fraguado

consistencia. En el caso de la ceniza amorfa, (CCA1 y CCA3) este fenómeno ocurre indistintamente del grado de molienda. Sin embargo, en el caso de la ceniza altamente cristalina, (CCA2 y CCA4) se observó cómo la penetración aumentó dramáticamente cuando ésta había sido finamente molida.

3.5 Tiempo de Fraguado en Pastas

De acuerdo con la Tabla 6 y la Figura 6, se puede interpretar que la CCA 1 y CCA 2 inician rápidamente el fraguado; aunque esta medición puede verse afectada por la baja fluidez de estos materiales, por lo que no es fácil determinar si el resultado se debe a un fenómeno reológico ó químico.

Por otro lado, la adición de 0,3% del superplastificante ejerció un efecto retardante del inicio del fraguado para varias de las mezclas, incluso algunas mezclas adicionadas con CCA presentaron el mismo tiempo que el humo de sílice, para el inicio del fraguado.

3.6 Viscosidad

Se tomaron mediciones de viscosidad en pastas a diferentes velocidades de corte, y también a velocidad constante (100rpm).

En la Figura 7 se muestran las curvas reológicas de las pastas de cemento patrón y de la pasta adicionada con HS. En la gráfica se observa un adelgazamiento a medida que aumenta la velocidad de corte, dado que al disminuir la velocidad se presenta una recuperación gradual de la viscosidad.

La pasta adicionada con el humo de sílice y la mezcla patrón presentó un comportamiento tixotrópico (Ver Figura 7), al generar un adelgazamiento a medida que se incrementa la velocidad de corte, y en el momento en que esta velocidad comienza a disminuir, la viscosidad aumenta, pero es inferior a la inicial.

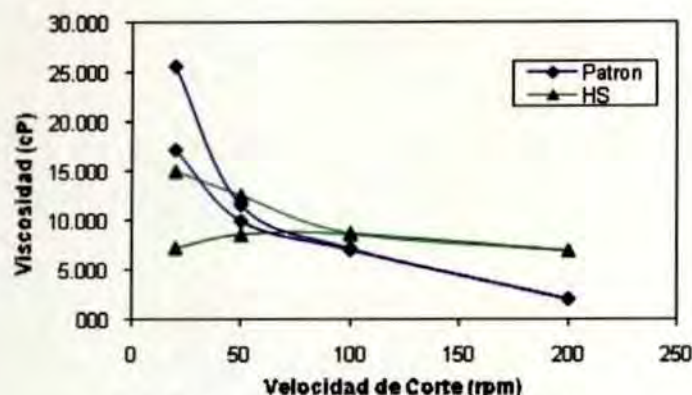


Figura 7. Comparación del comportamiento reológico entre el patrón y el humo de sílice

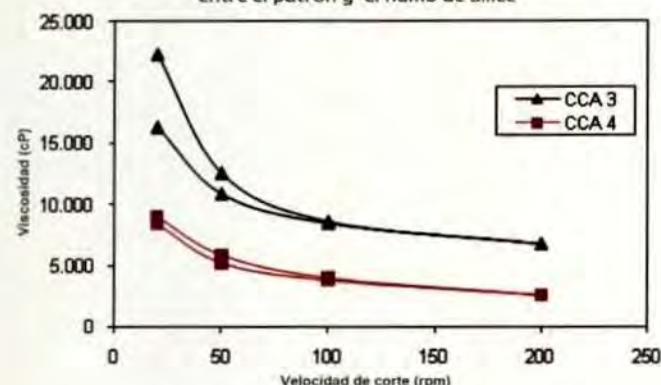


Figura 8. Comparación entre CCA 3 y CCA 4

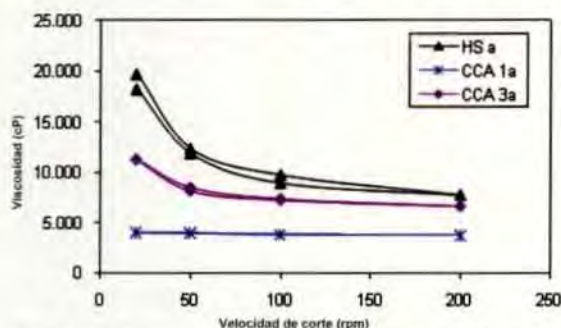


Figura 9. Comparación entre humo de sílice, CCA 1 y CCA 3 con aditivo superplastificante

Los materiales CCA1 y CCA2 al no incorporar el aditivo, estos no fueron sometidos a estas mediciones de viscosidad ya que no presentaron ningún tipo de cohesión puesto que CCA1 y CCA2 no fueron sometidas al proceso de molienda, y este material en esas condiciones posee una gran cantidad de poros que absorben por completo el agua de mezclado, adquiriendo la pasta una apariencia seca y sin manejabilidad, lo cual hace difícil la realización del ensayo.

De igual manera, en la Figura 8 se observa que la CCA 3 y la CCA 4 (sílice amorfa y cristalina con doce horas de molienda) presentaron un comportamiento tixotrópico. En la Figura 9 se identifica que la CCA 1a y CCA 3a presentan

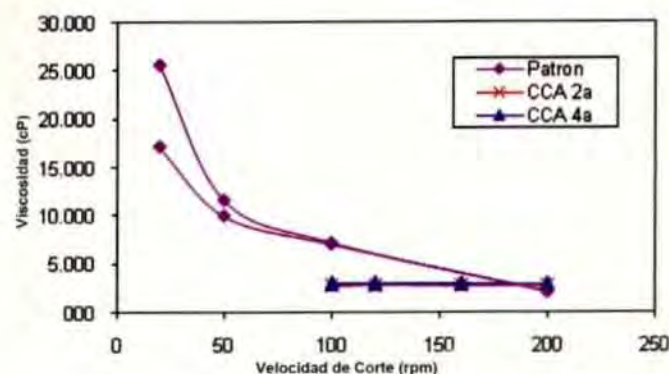


Figura 10. Comparación entre CCA 2 y CCA 4 con aditivo

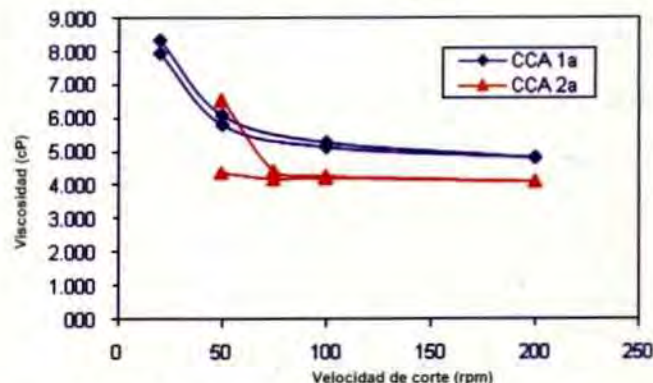


Figura 11. Comparación entre CCA 1 y CCA 2 con aditivo utilizando el spindle número 4

menores valores de viscosidad en comparación con el humo de sílice con aditivo, ese resultado era de esperarse ya que el humo de sílice presenta un tamaño de partículas inferior al de las mezclas ya mencionadas.

De acuerdo con la Figura 10, las mezclas CCA 2a y CCA 4a presentaron menores valores de viscosidad comparados con la mezcla patrón. Por otra parte, las mezclas mencionadas anteriormente producen una viscosidad similar, casi constante a lo largo de la variación de las velocidades de corte, dado que estas mezclas son con sílice cristalina, la cual no presenta una buena actividad pulzolánica con los compuestos principales del cemento, generando una viscosidad menor a la mezcla patrón.

En el estudio se realizaron algunas mediciones de viscosidad con el spindle HB 4 a las mezclas CCA 1a y CCA 2a (Figura 11). De los resultados obtenidos se puede apreciar que a medida que aumenta la velocidad de corte, la viscosidad disminuye y viceversa, algo que no se puede considerar cuando se utiliza el spindle HB 5 (el cual fue utilizado en todo el ensayo de viscosidad).

3.7 Velocidad de Corte Constante

En la Tabla 5 se observó que a una velocidad de corte constante de 100 rpm con un spindle HB5, la CCA 3 muestra una viscosidad mayor a la del humo de sílice, lo cual se debe a la gran finura y amorficidad del material.

En contraste, la CCA 4, a pesar de que posee el mismo tamaño de partícula que la CCA 3, no ofrece una mayor viscosidad que el patrón o el humo de sílice y muestra el efecto marcado de la amorficidad de las cenizas en la viscosidad de las pastas adicionadas.

4. CONCLUSIONES

Los diferentes resultados encontrados a lo largo de este artículo indican que:

- La realización del adecuado proceso de molienda ayuda a que la sílice cristalina (CCA 4) genere altas resistencias a compresión, superando incluso al patrón y al humo de sílice.

- La molienda es uno de los principales factores que modifican las propiedades reológicas de la CCA, especialmente cuando tiene un porcentaje alto de cristalinidad.
- La adición del aditivo superplastificante permitió mejorar la manejabilidad de estos materiales adicionados, pero su efecto fue más significativo cuando se empleaba CCA altamente cristalina.
- Se logró obtener una adición de CCA que presentara alta resistencia mecánica a compresión y buena manejabilidad en morteros y pastas adicionadas.

BIBLIOGRAFÍA

Delgado, R. "La cascarilla de Arroz". Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. 2000. p. 2.
Escalante, J. "Materiales alternativos

al cemento portland", en Avance y Perspectiva. Volumen 21. Marzo del 2002.

Gutiérrez, J. Guerrero, L. "Estudios de residuos industriales", Centro de estudios y de control contaminantes. 2002. p.16.

Sanguinetti, M. Gauto, O. "Incorporación de puzolana en concretos de alto desempeño", en Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Departamento de Estabilidad. Facultad Ingeniería. UNNE, 2000.

Zapata, M. "Cascarilla de Arroz para Reforzar el cemento". Universidad de Sao Paulo, Facultad de Ingeniería. 2002.