

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA SÍLICE OBTENIDA A PARTIR DE UN SUB PRODUCTO INDUSTRIAL EN MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND

Evaluation of the behavior of the obtained silica to leave of a sub product industrial in mortars of cement Portland

RESUMEN

En el presente trabajo se presentan resultados de propiedades tales como resistencia a compresión y fluidez en morteros 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 agroindustrial de una arrocería colombiana, la CCA fue obtenida a partir de un proceso térmico y de molienda

Se encontró que a partir de los procesos realizados se puede obtener una CCA de una gran actividad puzolánica pero con un comportamiento reológico variable.

PALABRAS CLAVES: Ceniza de cascarilla de arroz (CCA), puzolana, reología.

ABSTRACT

In the present paper appear the results of properties such as compressive strength and fluidity in mortar and consistency, setting times and viscosity in paste, all these properties were evaluated with the addition of an artificial pozzolan as it is the rice husk ash (RHA) which is sub product agroindustrial of a Colombian rice dealer, the RHA was obtained from a thermal and of molienda process. it was found that starting from an appropriate treatment thermal and particle size can be obtain a RHA with a great pozzolanic activity but with a rheologic performance variable.

KEYWORDS: Pozzolan, rheologic, Rice husk Ash (RHA)

MICHEL OSPINA

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

DIANA RENDÓN

Estudiante de pregrado
Ingeniería de Materiales
Universidad del Valle
dianamaricel@gmail.com

RUBY MEJIA DE GUTIÉRREZ

Doctor en Ciencias Químicas
Profesora Titular
Universidad del Valle
rudeguti@yahoo.com

Grupo de Materiales Compuestos,
Universidad del Valle, Apartado
Aéreo 25360 Cali, Colombia

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 60 años el estudio de la fabricación y utilización del cemento Pórtland se ha atendido con enfoques cada vez menos empíricos y más científicos. A raíz de esto, los procesos de producción se han mejorado; como resultado se obtuvieron ahorros de energía de más del 40%, sin mencionar la reducción de emisión de contaminantes[1]. La producción de cemento es un proceso de alta demanda energética de combustibles ($\approx 4,000$ kJ/kg cemento, 25% de pérdidas) y con alta emisión de contaminantes (0.85- 1kg CO₂/kg cemento) por descarbonatación de materia prima y uso de combustibles[2]. Las restricciones ambientales impuestas a las cementeras son cada vez más estrictas [3], lo que deberá llevar a la optimización de procesos o a la búsqueda de alternativas para la resolución de los diversos problemas y necesidades actuales.

La utilización de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) como adición puzolánica ayuda a reducir el impacto ambiental causado por la producción del cemento, en la medida que permite el reemplazo parcial de este en los materiales cementicios, adicionalmente la cascarilla de arroz es un subproducto agroindustrial de difícil disposición siendo comúnmente utilizado como combustible [1].

Todavía es muy poco el desarrollo industrial que se presenta de la cascarilla de arroz como un aditivo en el cemento Pórtland y de los beneficios que se pueden obtener con este tipo de materiales [4].

Hasta la fecha no se ha logrado encontrar estudios realizados sobre el comportamiento reológico de pastas y morteros de cemento Pórtland adicionados con sílice amorfa obtenida mediante las cenizas de la cascarilla de arroz o de cómo se halla logrado solucionar algún problema referente a las propiedades reológicas de esta 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 pirolisis de la cascarilla de arroz) como aditivo, para poder predecir la manejabilidad que puede llegar a presentar estos materiales compuestos cementicios adicionados.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiales Utilizados

A partir de dos tratamientos térmicos aplicados a una cascarilla de arroz nacional de composición química: 60% lignina, 40% celulosa y 20% ceniza (90% de SiO₂) se obtuvo sílice amorfa y cristalina las cuales fueron incorporadas en pasta y morteros como reemplazo de cemento. Los morteros corresponden a mezclas en proporción 1:2,75 de cementante:agregado fino preparados a partir de cemento Pórtland tipo III (ver tabla 1), la adición puzolánica se maneja como reemplazo del cemento en un 10% , se maneja una relación agua/cemento de 0.67 en morteros y 0.3 en pastas.

Cemento	Composición química				Finura Blaine cm ² /g
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Tipo III	62%	13%	9%	8%	4069

Tabla 1. Principales propiedades del cemento Pórtland tipo III

La ceniza de cascarilla de arroz se produjo con diferentes termomecánicos de la cascarilla de arroz, estas variables se pueden observar en la Tabla 2. Estas cenizas obtenidas se caracterizaron realizando porcentaje de sílice amorfa y perdida al fuego, donde la CCA 1 presento un porcentaje de sílice amorfa de 83,26% y perdida al fuego fue de 2,82%, mientras que para CCA 2 el porcentaje de sílice amorfa fue de 46,84% y perdida al fuego fue de 0,72%.

Para efectos de comparación, se utilizó humo de sílice densificado (HS), este material contiene un contenido de SiO₂ mayor al 90%, perdida al fuego menor al 5%, una superficie específica por arriba de 30m²/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 adicionó Sika Viscocrete 5600 (reductor e agua de ultra alto poder), el cual es un aditivo de tercera generación. La adición de este plastificante en las pastas y morteros fue 0.2% y 0.3% del peso del cementante respectivamente.

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

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

En la tabla 3 se observa el tamaño de medio de partículas de los diferentes tipos de CCA, HS y cemento utilizado, estas mediciones se realizaron por granulometría láser.

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

Tabla 3. Tamaño medio de partícula de los materiales utilizados

2.2 Métodos de Ensayo

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.

Fluidez en morteros

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

Consistencia de Pastas

En las pastas adicionas con CCA y el HS, el cemento y sus diferentes combinaciones incluyendo las mezclas donde se utilizo el aditivo superplastificante, se realizó este ensayo por medio del aparato Vicat según lo especificado en la norma ASTM C-91, C-187, C-191, la cual explica que se tiene una consistencia normal cuando el vástago del aparato Vicat tuvo una penetración de 10±1mm.

Tiempo de fraguado en pastas

Se utilizaron las mismas mezclas que para la consistencia en morteros, siguiendo la norma ASTM C-91, C-141 Donde utilizando el aparato Vicat.

Medición de la viscosidad

La medición de la viscosidad se realizó por medio de un viscosímetro rotacional Brookfield con un spindle HB5, en ciertas mezclas donde se observaba que eran muy

fluidas de utilizo el spindle HB4 ideal para estas mezclas. Para cada uno de los spindles se realizaron dos procedimientos, el primero fue variar la velocidad de corte y el segundo fue dejar constante la velocidad, la cual fue de 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 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%.

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

Tabla 4. Resistencias a compresión de las diferentes mezclas

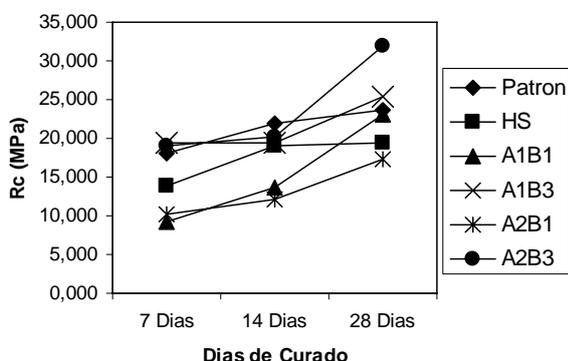


Figura 1. Resistencia a compresión sin aditivo

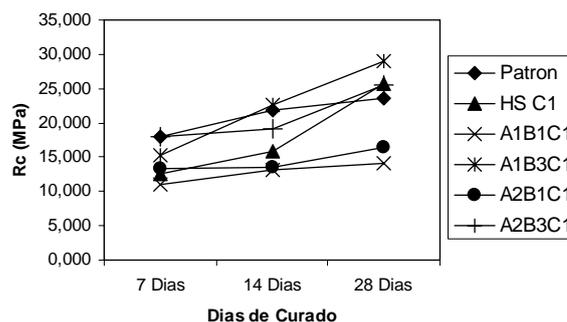


Figura 2. Resistencia a compresión con aditivo

En la figura 1 se observa que la CCA 1 y la CCA 2 no exhiben un buen comportamiento en la resistencia a compresión ya que no superan ni al patrón ni al humo de sílice, mientras que la CCA 3 y 4 presentan un comportamiento muy similar, pero por un lado la CCA 4 (sílice altamente cristalina con doce horas de molienda), presenta a 28 días de curado una mayor resistencia a compresión en comparación con el patrón y al humo de sílice, esto es un poco controversial ya que este tipo de sílice no posee gran actividad puzolánica, esto muestra la importancia que tiene la molienda en este tipo de adición.

La incorporación del superplastificante a los morteros adicionados con CCA 1 y CCA 2 produjo un aumento en la resistencia a compresión, esto se puede observar claramente en la figura 2, 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 ya que se presentó cierta disminución en las resistencias a compresión mientras que para la CCA 3 sucede un comportamiento totalmente opuesto, con la incorporación del aditivo hay un aumento sustancial en la resistencia a compresión, esto es debido a que esta ceniza posee una gran reactividad puzolánica y que este tipo de aditivos permiten una óptima dispersión del cementante.

Por otro lado 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 fue atribuido 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, disminuyendo su dispersabilidad.

En la figura 3 se observan los valores obtenidos del índice de actividad puzolánica de cada una de las mezclas realizadas medido a 28 días de curado, dando como resultado que todas las CCA que presentan un proceso molienda a doce horas, con y sin aditivo presentan una superioridad en actividad puzolánica en comparación con el humo de sílice, incluso la CCA 1, la cual tiene cero tiempo de molienda presenta un valor mayor al humo de

silíce, dado que este material posee un valor de amorficidad elevado (83.26%), por otro lado era de esperarse que la CCA 2 que no presentara un alto valor de índice de actividad puzolánica ya que esta silíce es cristalina.

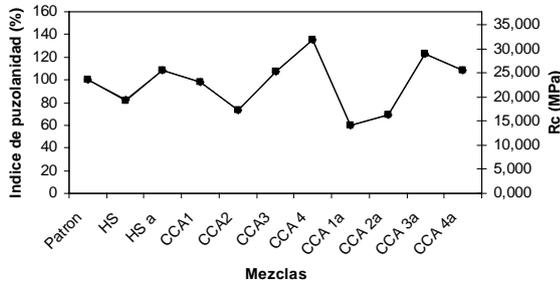


Figura 3. Comparación del índice de actividad puzolánica con la resistencia a compresión

3.2 Propiedades Reológicas

PROPIEDADES REOLÓGICAS			
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

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

Fluidez 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 de la mesa de flujo, se evidencia que la mezcla CCA 1 (silíce amorfa con doce horas de molienda), y la CCA 2 (silíce cristalina sin molienda) no superan la fluidez que presentan la mezcla patrón y el humo de silíce. Por otro lado la CCA 3 y La CCA 4 muestran altos incrementos de fluidez debido a al proceso de molienda el cual modifica su morfología.

Consistencia en pastas

En la tabla 5 se puede observar como la adición de CCA reduce significativamente la penetración en el ensayo de consistencia, en el caso de la ceniza amorfa este fenómeno ocurre indiferentemente del grado de molienda, sin embargo en el caso de la ceniza altamente cristalina, se observa como la penetración aumenta dramáticamente cuando esta es finamente molida.

Tiempo de fraguado en pastas

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

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

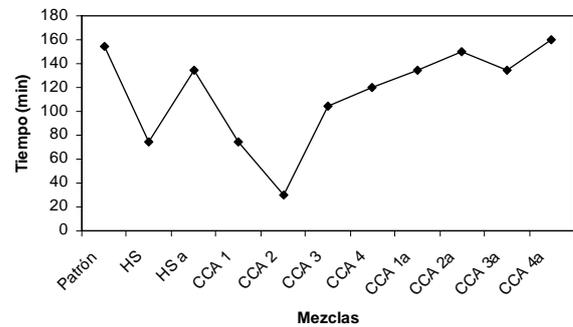


Figura 4. Tiempos de inicio de fraguado

Observando la tabla 6 y la figura 4 se puede ver que la CCA 1 y CCA 2 inician mas rápido 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 hizo que varias de las mezclas retardaran el inicio del fraguado, incluso algunas mezclas adicionadas con CCA presentaron el mismo tiempo para el inicio de fraguado que el humo de silíce.

3.5 Viscosidad

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

En la figura 5 se muestra las curvas reológicas de las pastas de cemento patrón y la pasta adiciona con HS mostrando un adelgazamiento a medida que aumenta la velocidad de corte, cuando la velocidad disminuye hay una recuperación gradual de la viscosidad.

La pasta adicionada con el humo de sílice al igual que la mezcla patrón también presenta un comportamiento tixotropico, el cual se observa en la figura 5, donde se genera un adelgazamiento a medida que aumenta la velocidad de corte y en le momento en que esta velocidad comienza a disminuir la viscosidad aunque aumenta es inferior a la inicial.

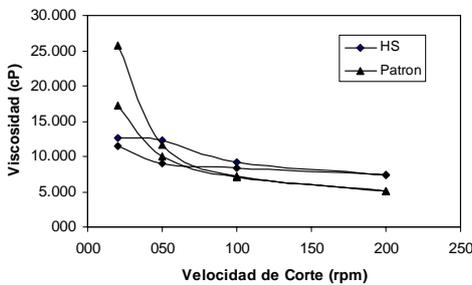


Figura 5. Comparación del comportamiento reológico entre el patrón y el humo de sílice

Los materiales CCA1 y CCA2 sin la incorporación de aditivo, no se les logro hacer este tipo de mediciones ya que no presentaban ningún tipo de cohesión, dado que CCA 1 y 2 no tenían proceso de molienda, y este material en estas condiciones posee una gran cantidad de poros que absorben por completo el agua de mezclando y la pasta adquiere una apariencia seca y sin manejabilidad.

De igual manera, en la figura 6 se observa que la CCA 3 y la CCA 4 (sílice amorfa y cristalina con doce horas de molienda) tienen un comportamiento tixotrópico.

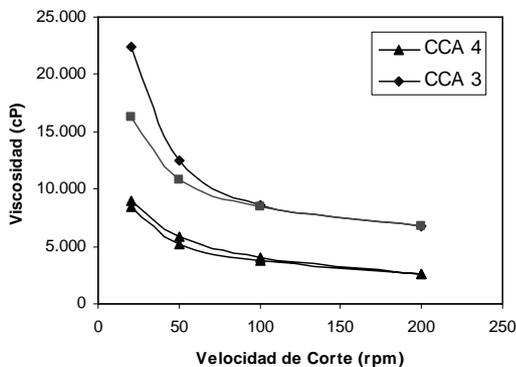


Figura 6. Comparación entre CCA3 y CCA4

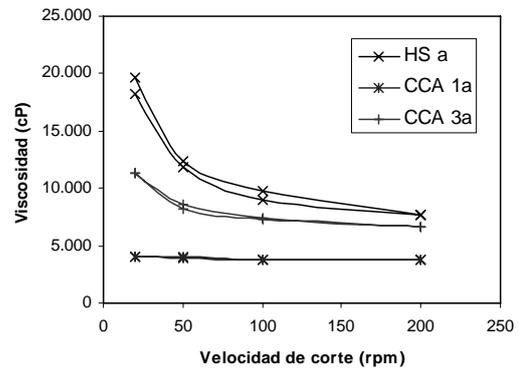


Figura 7. Comparación entre humo de sílice, CCA1 y CCA3 con aditivo superplastificante

En la figura 7 se ve claramente que la CCA 1a y CCA 3a presentan menores viscosidades en comparación con el humo de sílice con aditivo.

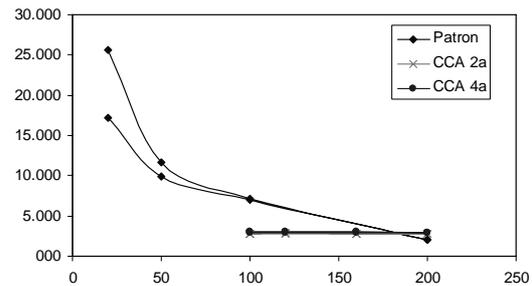


Figura 8 Comparación entre CCA 2 y CCA 4 con aditivo

Se puede ver en la figura 8 que las mezclas CCA 2a y CCA 4a presentan menores valores de viscosidad comparados con la mezcla patrón, por otro CCA 2a y CCA 4a tienen una viscosidad similar casi constante a lo largo de la variación del las velocidades de corte.

Se realizaron algunas mediciones con el spindle HB 4 a las mezclas CCA 1a y CCA 2a, se puede ver con mayor claridad que a medida que aumenta la velocidad de corte la viscosidad disminuye y viceversa, algo que no se puede apreciar cuando se utiliza el spindle HB 5.

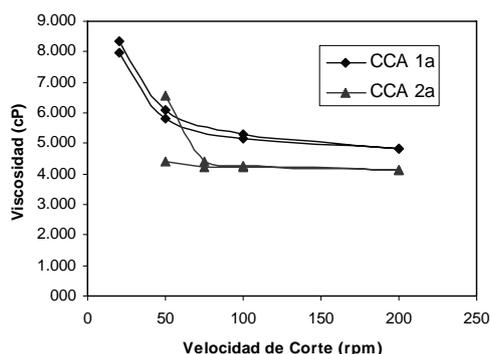


Figura 9. Comparación entre CCA 1 y CCA 2 con aditivo utilizando el spindle numero 4

Velocidad de corte constante

En la tabla 5 se observa que a una velocidad de corte constante de 100 rpm con un spindle HB5 la CCA 3 presenta una viscosidad mayor a la del humo de sílice, lo cual se debe a la gran finura y amorficidad que tiene este material, por otro lado, la CCA 4 a pesar de que posee el mismo tamaño de partícula que la CCA 3 no presenta mayor viscosidad que el patrón o el humo de sílice, mostrando 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 de adecuado proceso de molienda ayuda a que la sílice cristalina (CCA 4) genere altas resistencias a compresión, inclusive superando 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 permite mejorar la manejabilidad de estos materiales adicionados, pero su efecto es más significativo cuando se trata de CCA altamente cristalina
- Es posible obtener una adición de CCA que genere alta resistencia mecánica a compresión y buena manejabilidad en morteros y pastas adicionadas.

5. AGRADECIMIENTOS

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

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. J. Escalante. "Materiales alternativos al cemento portland". Mexico: Unidad Saltillo del Cinestav. 2002.
- [2]. J.Gutiérrez, L. Guerrero. "Estudios de residuos industriales". Honduras: Centro de estudios y de control contaminantes. 2002. 16 p.
- [3]. R. Delgado. "La cascarilla de Arroz". México: Instituto Tecnológico de Zacatepec, Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica. 2000. 2 p.
- [4]. M. Sanguinetti, Gauto O., "Incorporación de puzolana inconcretos de alto desempeño", Departamento de Estabilidad - Facultad Ingeniería – UNNE, argentina, 2000.
- [5]. M. Zapata "Cascarilla de Arroz para Reforzar el cemento". Brasil: Universidad de Sao Paulo, Facultad de Ingeniería. 2002.
- [6]. A. Bharadwa. "Pyrolysis of rice husk". Estados Unidos: Carnegie Mellon University, Department of Material Science and Engineering. 2004. 981 p.
- [7]. B. Cardona. "Obtención de fases del cemento utilizando desechos agrícolas e industriales". Ciudad Universitaria San Nicolas de los Garza, Facultad de Ciencias Químicas, Centro de Laboratorios Especializados. 2002. 190-194 p.
- [8]. R. Jauberthie, S. Tamba. "Properties of cement—rice husk mixture". Estados Unidos: Department of Civil Engineering, INSA, 2002. 240 p.
- [9]. J. Davidovits. "Emerging technologies symposium on cement and concretes in the global environment". Estados Unidos: Portland Cement Association. 1993.
- [10]. I. Aiada,*, S. Abd El-Aleemb, H. El-Didamony. "Effect of delaying addition of some concrete admixtures on the rheological properties of cement pastes". Egipto: facultad de ciencias, Cairo University. 2001.
- [11]. C. Suesta, M.J.L. Tendero, I. Beleña. "activación alcalina de humo de sílice en morteros de cemento: estudio de resistencias mecánicas" España: Asociación de Investigación de las Empresas de la Construcción (AIDICO). 2002