

REACCIÓN ÁLCALI – SÍLICE EN HORMIGONES CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ RESIDUAL

ALKALI-SILICA REACTION IN CONCRETES WITH RESIDUAL RICE-HUSK ASH

G. Giaccio¹, R. Zerbino²

1.- Investigadora Independiente CIC-LEMIT-UNLP

2.- Investigador Independiente CONICET-UNLP-LEMIT

RESUMEN

Desde 2006 el LEMIT-CIC ha desarrollado proyectos de investigación conjunta con el Centro de Tecnología, Departamento de Estruturas e Construção Civil (GEPECON/UFMS Universidade Federal de Santa María, Brasil) y la Universidad de la República (UDELAR, Montevideo, Uruguay) sobre el uso en hormigón de ceniza de cáscara de arroz residual (CCA). La CCA es una adición mineral de gran interés en varios países en desarrollo. Para obtener una buena puzolana la cáscara de arroz necesita ser quemada bajo un proceso de temperatura controlada y molida en forma previa a su incorporación al hormigón. Bajo otras condiciones se obtiene una CCA residual de menor calidad, pero la misma puede ser mejorada mediante molienda (CCAM). Con el fin de simplificar el procesamiento de la CCA, se demostró en el proyecto conjunto que es posible producir hormigones estructurales empleando la CCA residual sin realizar la molienda previa (CCAN), adaptando el proceso de mezclado del hormigón de forma tal de optimizar el tamaño de partículas de la ceniza. De este modo se ve favorecido el uso de CCA en zonas cercanas a los sitios de producción. Sin embargo, dado que la CCA posee sílice amorfa y cristobalita en su composición, se pueden producir reacciones deletéreas con el cemento portland ante la presencia de álcalis y condiciones ambientales propicias. Este artículo describe los estudios realizados en el LEMIT sobre el desarrollo de la reacción álcali - sílice (RAS) en morteros y hormigones preparados con CCAN y CCAM. Se discuten los resultados de las expansiones medidas en morteros y hormigones, de las propiedades mecánicas y de estudios de campo sobre prototipos. El trabajo muestra que cuando se emplea CCAN existen riesgos de fisuración conforme el contenido de álcalis y el tipo de ligante empleado.

Palabras clave: ceniza de cáscara de arroz, hormigón, reacción álcali-sílice, disposición de residuos.

ABSTRACT

Since 2006, the LEMIT-CIC has developed research projects together with the Centro de Tecnologia, Departamento de Estruturas e Construção Civil (GEPECON/UFMSM Universidade Federal de Santa Maria, Brasil) and the Universidad de la República (UDELAR, Montevideo, Uruguay) on the use of residual rice-husk ash (RHA) in concrete. The RHA is a supplementary cementing material of great interest in many developing countries. To obtain a good pozzolan the rice-husk needs to be burnt at a controlled temperature and ground before incorporating in concrete. In other conditions a residual RHA is obtained with a lower quality, but it can be improved by grinding (GRHA). As a way to simplify RHA processing, it was demonstrated in the performed joint projects that it is possible to produce structural concretes incorporating residual RHA without previous grinding (NRHA), adapting concrete mixing process to optimize the ash particle size. In this way the use of RHA nearby where it is produced can be enhanced. Nevertheless as RHA has siliceous vitreous minerals and cristobalite, deleterious reactions with portland cement can take place when alkalis and certain environmental conditions are present. This paper describes the studies performed at LEMIT on the development of alkali - silica reaction (ASR) in mortars and concretes prepared with NRHA and GRHA. Results of mortar and concrete expansions, mechanical properties, and field studies on prototypes are discussed. The research shows that when using NRHA there can be risks of cracking according to the alkali content and binders used.

Keywords: rice-husk ash, concrete, alkali-silica reaction, waste management.

INTRODUCCIÓN

14

El aprovechamiento y disposición de residuos en materiales a base de cemento portland constituye una de las líneas de investigación del LEMIT desde hace más de una década. Entre las diversas temáticas abordadas en este campo existe una vasta experiencia sobre el uso de adiciones minerales en cementos y hormigones. En la actualidad el significado de la incorporación de adiciones no se limita a la mejora en las propiedades tecnológicas sino que constituye un requerimiento para contribuir a la sustentabilidad de las construcciones civiles. En efecto, el aprovechamiento de adiciones minerales aparece como una de las mejores alternativas para minimizar el consumo de clínquer y consecuentemente la generación de CO₂, y a la vez facilita un camino para la disposición final de muchos subproductos o residuos. Los beneficios

ambientales, que se suman a las ventajas técnicas y económicas, pueden ser muy significativos considerando que el hormigón es el material de construcción de mayor consumo en el mundo.

En este marco desde 2006 a la fecha se desarrollaron investigaciones en el área tecnología del hormigón del LEMIT correspondientes al proyecto *Produção de concreto estrutural com cinza de casca de arroz "in natura", sem beneficiamento*, en una acción conjunta con el Centro de Tecnologia del Departamento de Estruturas e Construção Civil (GEPECON) de la Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, y la Universidad de la República (UDELAR) de Montevideo, Uruguay¹.

En referencia a la relevancia del problema cabe comentar que al momento de iniciar el proyecto

¹ El proyecto tuvo el apoyo financiero del Programa Sul-Americano de Apoio às Atividades de Cooperação em Ciência e Tecnologia - PROSUL, del Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, y se realizó en dos etapas con la coordinación general del Prof. Geraldo C. Isaia de la Universidad Federal de Santa Maria, RS, Brasil; y las coordinaciones locales de la Profa. Gemma Rodríguez de Sensale de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Uruguay y del Prof. Raúl Luis Zerbino del Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT), La Plata, Argentina.

la Asociación Cultivadores de Arroz indicaba para la zafra agrícola 2003/2004 una producción de 12.100.000 toneladas para Brasil, 990.000 para Argentina y 1.320.000 para Uruguay, esto es un total de 14.410.000 toneladas [1]. Gran parte de la misma corresponde a una zona geográfica bien definida: la región del Mercosur que comprende el estado de Rio Grande do Sul, Uruguay y la Mesopotamia Argentina. En esta región, con un área total aproximada de 660.000 km² distribuida en forma continua entre los tres países, ya se producían al comienzo del proyecto cerca de 8.000.000 toneladas de arroz, que representaban el 40% de la de América del Sur y el 59% de la producción del MERCOSUR. El estado de Río Grande contribuye con aproximadamente 78% del total; en Uruguay la mayoría de la producción tiene lugar en los territorios de Rocha, Treinta y Tres, Cerro Largo y Artigas, mientras que en Argentina corresponde a las provincias de Entre Ríos y Corrientes.

Cada tonelada de arroz genera en término medio 200 kg de cáscara que luego de quemada da lugar a unos 40 kg de ceniza. La ceniza de cáscara de arroz es un material silíceo que debe ser depositado o utilizado adecuadamente para evitar la contaminación. La enorme cantidad de cenizas que genera la región, de no ser planificada su disposición, se traduciría en un grave problema para el medio ambiente. Existen antecedentes de la excelente calidad que pueden alcanzar las cenizas bajo combustión controlada [2-5] o a través de procesos de optimización por molienda. Sin embargo, la quema se realiza generalmente en calderas sin control de temperatura, lo que da lugar a una ceniza en la que parte de la microestructura es cristalina y no amorfa, como sería deseable para favorecer la actividad puzolánica. Esto es, bajo condiciones de quema no controlada se produce una puzolana de menor calidad, denominada CCA residual.

Si bien la CCA puede ser optimizada mediante la molienda, el proceso implica no sólo una demanda de energía sino también la necesidad de acciones de acopio, selección y disposición. La idea rectora del proyecto desarrollado consistió en aprovechar el proceso de mezclado del hormigón para que, durante el tiempo de contacto entre las CCA y los agregados gruesos, se produzca la reducción de tamaño de partículas en la CCA alcanzando un tamaño adecuado que favorezca su reactividad.

El estudio realizado verificó la factibilidad de mejorar este modo de uso de la CCA. Aunque en general no se alcanzó el grado de actividad puzolánica de la misma CCA molida (CCAM), se comprobó que es posible reemplazar hasta un 15% de cemento portland por CCA natural (CCAN) y lograr similares valores de resistencia a compresión que el hormigón sin cenizas [6,7]. Las investigaciones también demostraron que la adherencia matriz-agregado mejora cuando se incorporan cenizas, y que no se producen cambios significativos en la respuesta tensión-deformación en compresión, ni en la fluencia o la contracción por secado. Otros estudios del mismo proyecto realizados sobre hormigones con resistencias a compresión a la edad de 28 días entre 20 y 40MPa, en los que se reemplazó 15% de cemento por CCAN, determinando la profundidad de carbonatación, la permeabilidad al oxígeno, y los parámetros de succión capilar, demostraron la viabilidad del uso de la CCAN.

Sin embargo, ya que la CCA está compuesta por minerales silíceos que pueden dar lugar a reacciones deletéreas con el cemento portland, el proyecto incluyó un pormenorizado estudio de la reacción álcali-sílice (RAS) que tuvo lugar en el LEMIT². En este artículo se describen los pasos seguidos para abordar esta problemática que incluyen la caracterización de las cenizas, estudios acelerados sobre morteros y hormigones,

² Es de destacar que en dicho estudio tuvo activa participación el Ing. Oscar R. Batic, uno de los mayores especialistas en RAS con que ha contado la Argentina, que falleciera recientemente. Con el Ing. Batic se han elaborado varias publicaciones durante el desarrollo de proyecto.

y finalmente el seguimiento del comportamiento de pequeñas losas elaboradas con hormigones que incorporan CCA en distintas proporciones, que constituyen prototipos representativos de la respuesta in situ del material.

EXPERIENCIAS

Para analizar la respuesta frente a la RAS de hormigones con cenizas de cáscara de arroz, tanto en estado natural (CCAN) como molida (CCAM), se desarrollaron en forma sucesiva tres programas experimentales.

En el primer programa el objetivo fue evaluar si las cenizas (CCAN o CCAM) provocaban inhibición o exacerbación de la reacción; para ello se hicieron ensayos acelerados a nivel de morteros y de hormigones sobre mezclas con agregados reactivos y mezclas de referencia [8]. Se concluyó que en los ensayos de morteros con agregado fino reactivo (IRAM 1674) la CCAN expande mientras que la CCAM según el porcentaje incorporado puede producir inhibición o exacerbación de la RAS. En el caso de los hormigones, mientras los que incorporaron CCAM mostraron expansiones (IRAM 1700) por debajo del límite de aceptación, los que contenían CCAN superaron el límite tanto con los agregados reactivos como con los no reactivos.

Como en dichas experiencias se comprobó una respuesta expansiva incluso en mezclas con CCAN que no incorporaban agregados reactivos, se desarrolló un segundo programa para analizar los criterios de selección de cementos para evitar la RAS. El mismo estuvo basado principalmente en ensayos acelerados mediante la barra de mortero, IRAM 1674 [9], que se complementaron con ensayos mecánicos y observaciones microscópicas. El estudio concluyó que el uso de CCAN implica riesgos de RAS, y la consecuente degradación mecánica, que varían conforme el cemento utilizado. El proceso de daño está fuertemente asociado al tamaño de las partículas de las cenizas y se refleja con claridad

sobre las propiedades mecánicas. El uso de puzolanas permite minimizar la RAS; en cuanto al efecto del contenido de CCAN parece existir un “pesimum” posiblemente asociado a la presencia de cristobalita. Un aspecto interesante es que no se observaron los signos típicos de la RAS, como presencia de geles, incluso en morteros con grandes expansiones. Al realizar experiencias complementarias preparando morteros con cenizas sin incorporar álcalis, se verificó la ausencia de procesos deletéreos, confirmando de este modo la influencia decisiva de la presencia de álcalis en el proceso de degradación.

El tercer programa, que será descrito en este trabajo, tuvo como objetivo valorar la respuesta de pequeñas losas de hormigón en las condiciones ambientales propias de la región. Las losas fueron estudiadas durante tres años incluyendo una mezcla de referencia sin cenizas, hormigones con CCAN y CCAM incorporando álcalis y sin ellos. Además de estudiar el cuadro de fisuración y las expansiones sobre las superficies de las losas se determinaron expansiones y propiedades mecánicas sobre prismas y cilindros.

Caracterización de las cenizas

La Figura 1 muestra el resultado del análisis de difracción por rayos X de las cenizas, que confirmó la presencia de abundante cantidad de material vítreo y cristobalita. En las experiencias destinadas a evaluar la susceptibilidad frente a

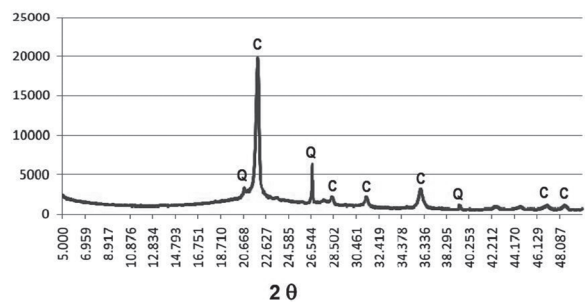


Figura 1. Análisis por difracción de rayos X de la CCAM. C: cristobalita; Q: cuarzo

la reacción álcali – sílice, la ceniza de cáscara de arroz se utilizó en dos condiciones:

CCAM: representa la ceniza residual optimizada mediante un proceso de molienda previa en un molino a bolas. A modo de referencia la superficie específica Blaine de esta ceniza fue del orden de $750 \text{ m}^2/\text{kg}$.

CCAN: es la ceniza natural residual en la condición que va a ser incorporada al hormigón. La misma sólo fue secada para facilitar la homogeneización, envasado y posterior transporte.

En la Tabla 1 se presentan las propiedades físicas de las cenizas de cáscara de arroz en su estado natural (CCAN) y molida (CCAM). También se incluye la cenizas identificada como CCAN*, que es la CCAN luego de ser mezclada con los agregados gruesos durante 10 minutos en la hormigonera, simulando el proceso de mejora del tamaño de partículas que se produce durante el mezclado del hormigón. Esta última representa bastante bien las características de la ceniza luego de elaborado el hormigón, se puede apreciar la reducción en el tamaño de partículas por encima de los 100 micrones. Cabe comentar que en los programas 1 y 2 para realizar los estudios sobre morteros, dado que no se iba a producir la reducción de tamaño de las partículas de la CCAN durante el mezclado, era necesario producirlo artificialmente y se usó la CCAN*.

Estudio sobre prototipos

Se fabricaron dos series de losas (A y B) empleando cemento portland normal y agregados finos y gruesos no reactivos: arena sílicea natural y piedra granítica de 19 mm de tamaño máximo. En la Serie A se realizaron un hormigón de referencia (A1) con 420 kg/m^3 de cemento y dos hormigones en los que se reemplazó 15% de cemento en peso por CCAM (A2) y CCAN (A3). En estos casos se agregó NaOH hasta alcanzar $5,25 \text{ kg/m}^3$ de álcalis total conforme establece la norma IRAM 1700. En la Tabla 2 se muestran las proporciones y propiedades en estado fresco de los hormigones elaborados.

Las losas se ubicaron en uno de los patios del LEMIT y junto a ellas se ubicaron cilindros de $100 \times 200 \text{ mm}$ y prismas de $75 \times 75 \times 300 \text{ mm}$ que fueron moldeados para medir las variaciones dimensionales. Tanto los prismas como los cilindros se dividieron en dos grupos, uno permaneció junto a las losas y el otro se mantuvo a 38°C en condiciones saturadas dentro de bolsas plásticas (IRAM 1700). Pasados 4 meses se extrajeron de las losas testigos de 100 mm de diámetro para estudiar las propiedades mecánicas.

Sobre la superficie de las losas se pegaron repes para realizar un seguimiento de las expansiones, para lo cual se empleó un extensómetro de láminas paralelas. Esto permitió comparar las expansiones

Tabla 1. Propiedades físicas de las cenizas de cáscara de arroz.

Propiedades		CCAN	CCAN*	CCAM
Finura		En estado original	Mezclada con la piedra durante 10 minutos	Previamente molida
% que pasa	# 50	47	81	100
	# 100	23	39	100
	# 200	18	15	95
Densidad		1,45 a 1,60		2,00 a 2,10

Tabla 2. Características de los hormigones empleados en las losas.

Concrete	Serie A			Serie B		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
CPN1 (kg/m ³)	420	357	357	---	---	---
CPN2 (kg/m ³)	---	---	---	357	357	280
CCAN (kg/m ³)	---	---	63	63	63	50
CCAM (kg/m ³)	---	63	---	---	---	---
Na ₂ O _{eq} (kg/m ³)	5,25			5,25	2.86 *	2.24 *
a/c+CCA	0,44			0,44	0,44	0.56
Asentamiento (mm)	180 ± 10			80 ± 5		
Dimensiones	0,80 x 0,60 x 0,20 m			0,50 x 0,50 x 0,10 m		

* Suministrados por el cemento

medidas en prismas y losas y seguir su evolución en el tiempo. A diferentes edades durante el transcurso de las experiencias se determinaron la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad de los hormigones.

Como la losa A2, que incorporaba CCAN y un alto contenido de álcalis, mostró una degradación importante luego de algunos meses de exposición se planteó un segundo grupo de prototipos (Serie B) que incluye tres losas de 0,50 x 0,50 x 0,10 m. En este caso todos los hormigones incorporaron CCAN a razón de 15% en peso de cemento, variando el contenido de material cementíceo y el contenido de álcalis. En la losa B1 se introdujeron 5,25 kg/m³ de álcalis total (Na₂O_{eq}) y 420 kg/m³ de contenido total de cemento más cenizas. La losa B2 se preparó con las mismas proporciones que la losa B1 pero sin adicionar álcalis (ver Tabla 2), mientras que la losa B3 también fue preparada sin incrementar el contenido de álcalis pero el contenido de material cementíceo se redujo a 330kg/m³ (280kg/m³ de cemento y 50g/m³ de CCAN). Con estas proporciones se había alcanzado una resistencia a compresión de 30 MPa a la edad de 28 días [6].

Las losas B1 a B3 se ubicaron en las mismas condiciones ambientales que las losas de la serie A. Nuevamente se realizaron medidas sobre prismas

y cilindros ubicados junto a las losas y también se ubicaron probetas en condiciones saturadas a 38°C.

El proceso de degradación se refleja en los valores de expansión medidos tanto sobre prismas como sobre las superficies de las losas. En la Figura 2 se aprecian los fuertes incrementos de expansión en A3 mientras en A1 y A2 las expansiones siempre están por debajo del límite de 0,04 %.

En la Figura 3 se muestra el aspecto de las losas y en la Tabla 3 se sintetizan los resultados de las propiedades mecánicas medidas en ambas series.

Como se aprecia en la Figura 3, luego de 4 meses el hormigón A3 mostraba una marcada fisuración tanto en la losa como en los cilindros. El efecto de la degradación también se verifica si se analiza la resistencia a compresión y en especial el módulo de elasticidad (ver Tabla 3). Mientras en los hormigones A1 y A2 la resistencia crece en forma continua y alcanza más de 56 MPa a los 36 meses, en el hormigón A3 decrece entre 1 y 4 meses y luego evoluciona hasta alcanzar solamente 36MPa a los 3 años.

En la Figura 4 se muestran las expansiones correspondientes a la Serie B y en la Figura 5 el aspecto de las losas. Si se consideran los resultados

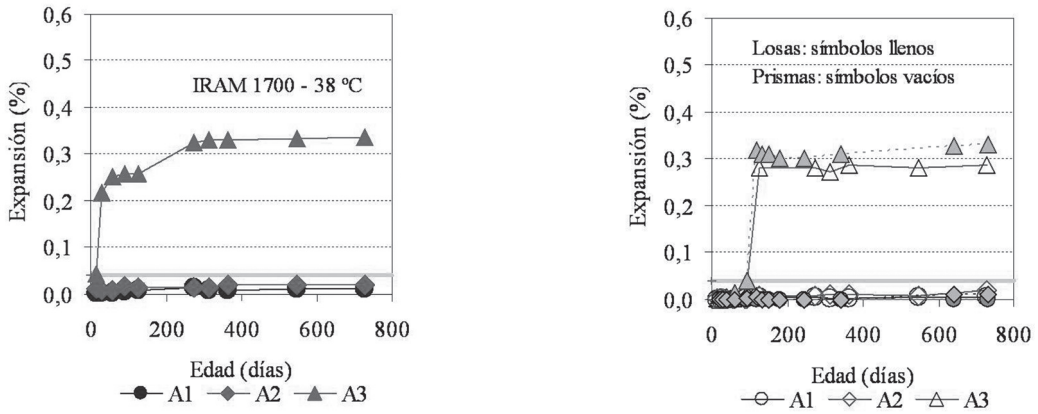


Figura 2. Serie A. Evolución de las expansiones. a) Izq. Ensayos normalizados. b) Der: medidas sobre losas y prismas ubicados junto a ellas.

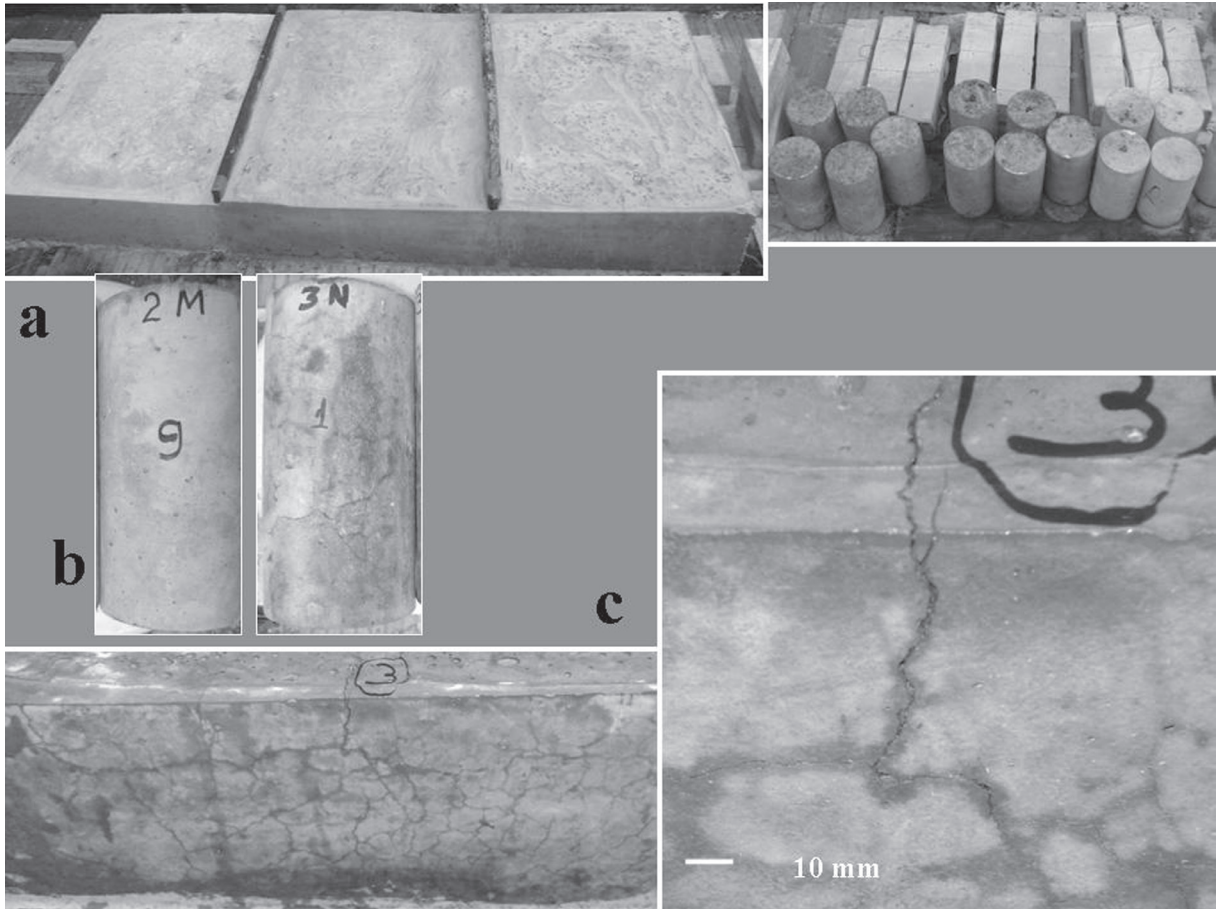


Figura 3. Serie A. a) Vista de las losas y las probetas; b) aspecto de la superficie de cilindros de A2 y A3, c) Borde de la losa A3 y ampliación.

Tabla 3. Propiedades mecánicas.

	Resistencia a compresión (MPa)					Valores relativos (%)			
	Probetas			Testigos	testigos / probetas	Probetas			Testigos
Meses	1	4	36	4		1	4	36	4
A1	31,6	34,5	56,1	42,2	1,22	100			
A2	31,0	36,6	56,3	42,3	1,16	98	106	100	100
A3	32,7	22,7	36,2	26,0	1,15	104	66	64	62
Módulo de elasticidad (GPa)					Valores relativos (%)				
A1	32,2	32,6	35,4	38,5	1,18	100			
A2	30,8	33,5	32,0	31,7	0,95	96	102	90	82
A3	26,6	8,7	10,6	8,3	0,95	82	27	30	22
Resistencia a compresión (MPa)					Valores relativos (%)				
Meses	Probetas junto a las losas			38°C	38°C / exterior	Probetas junto a las losas			38°C
	1	3	12	3		1	3	12	3
B1	26,4	19,7	35,1	26,7	0,76	89	53	68	56
B2	29,5	36,9	51,5	47,5	0,92	100			
B3	21,2	23,1	39,5	35,4	0,90	72	62	77	74
Módulo de elasticidad (GPa)					Valores relativos (%)				
B1	23,2	9,8	13,2	7,4	0,56	86	27	40	22
B2	26,9	36,1	32,7	33,6	1,03	100			
B3	26,4	34,2	31,7	31,0	0,98	98	95	97	92

20

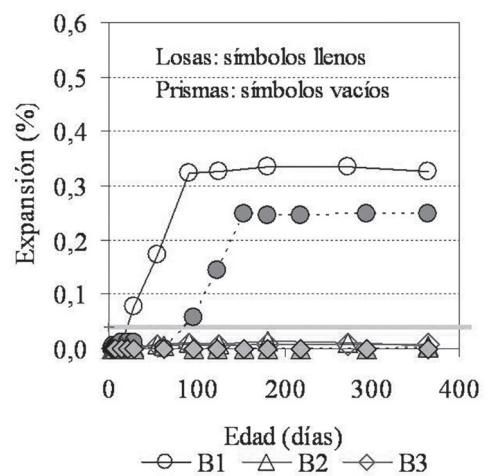
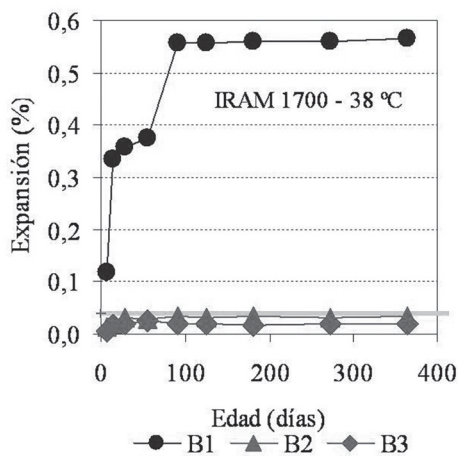


Figura 4. Serie B. Evolución de las expansiones. a) Izq. Ensayos normalizados. b) Der: medidas sobre losas y prismas ubicados junto a ellas.

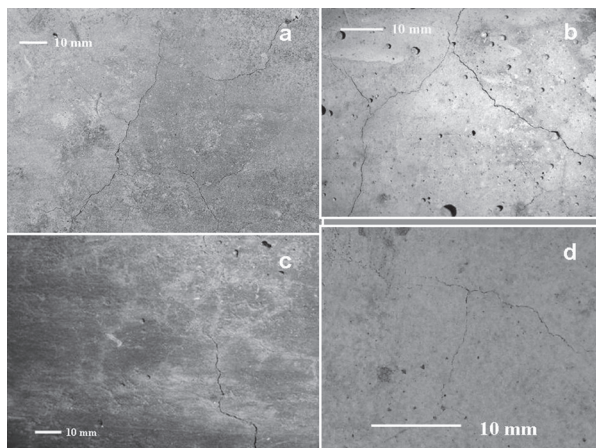


Figura 5. Serie B. Hormigón B1: a) aspecto de la superficie de la losa, b) superficie de un cilindro, c) borde de la losa. Hormigón B2: d) superficie de la losa.

obtenidos, se vuelven a verificar expansiones significativas y fisuración en la losa B1 preparada con 420 kg/m^3 de material cementíceo y $5,25 \text{ kg/m}^3$ de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$. La situación es diferente en el caso de B2 y B3, donde los álcalis son sólo los aportados por el cemento, las expansiones están por debajo del límite y, como era de esperar son menores en el caso de la losa con menor contenido de cemento y ceniza (B3); aunque las expansiones fueron menores a $0,04\%$ se vieron pequeñas fisuras en B2 a la edad de 1 año. La resistencia de los hormigones B2 y B3 evolucionó entre 1 y 12 meses, por su parte el hormigón B1 repitió el comportamiento observado en A3 y sus propiedades mecánicas resultaron inferiores a las de B2 incluso a la edad de 1 mes, con el transcurrir de los meses se continuó verificando la degradación en B1. En los cilindros expuestos a 38°C se verifica una mayor degradación que en aquellos conservados junto a las losas.

En síntesis los estudios en campo demuestran que la incorporación de CCAN genera un proceso de fisuración generalizada si existe suficiente disponibilidad de álcalis y condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Para las mismas condiciones esto no ocurrió al utilizar la ceniza molida (CCAM) en cuyo caso las

propiedades mecánicas incluso mejoraron. Sin embargo, cuando los álcalis disponibles no fueron tan abundantes ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$: $2,86$ y $2,24 \text{ kg/m}^3$) no se encontraron expansiones ni mayores signos de degradación luego de 12 meses. Solamente se vieron algunas pocas fisuras, muy pequeñas, en la losa con mayor contenido de cemento sin efectos notorios sobre las propiedades mecánicas.

CONCLUSIONES

Como parte de un proyecto conjunto se realizó un extenso estudio sobre la susceptibilidad a la reacción álcali-sílice (RAS) en hormigones que incorporan cenizas de cáscara de arroz. Se presentan a continuación las conclusiones alcanzadas a lo largo de todo el estudio.

El uso de ceniza de cáscara de arroz residual sin procesar (CCAN) trae aparejado un proceso de daño que involucra una fisuración generalizada si existe suficiente disponibilidad de álcalis en el medio y condiciones de temperatura y humedad propias de aquellas que favorecen la reacción.

Mediante ensayos acelerados en morteros se observó que la CCAN provoca expansiones, mientras que la misma ceniza molida (CCAM) puede inhibir o exacerbar la reacción dependiendo del contenido de ceniza incorporado.

Los niveles de degradación dependen del cemento empleado. La presencia de puzolanas minimiza el riesgo de reacción. El estudio general demuestra que mediante una adecuada selección del cemento no existen mayores riesgos en el uso de la CCAN en lo que respecta al desarrollo de la RAS.

Los hormigones con CCAM mostraron expansiones (IRAM 1700) por debajo del límite de $0,04\%$, mientras que en aquellos que incorporaron CCAN se verificaron drásticas expansiones. Un aspecto interesante es que no se observaron los signos típicos de la RAS como es la presencia de geles.

En estudios de campo cuando se suministraron álcalis a la mezcla, los hormigones con CCAN se comportaron en forma acorde a la observada en los estudios acelerados sobre probetas. Cuando los álcalis fueron sólo aquellos que aportaba el cemento ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 2,86 \text{ kg/m}^3$) sólo se apreciaron pequeñas fisuras, no se midieron mayores expansiones ni se afectaron las propiedades mecánicas.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Darío Falcone por su colaboración en la realización de los ensayos de expansión de morteros y hormigones.

REFERENCIAS

- 1.- Asociación Cultivadores de Arroz, http://www.aca.com.uy/publicaciones/revista_38_situacion_regional.htm
- 2.- Mehta, P.K. (1994). Highly durable cement products containing siliceous ashes. United States Patent Number 5, 346, 548, 15 p.
- 3.- RILEM Committee 73-SBC, (1988). Final Report: Siliceous by-products for use in concrete. Materials and Structures, Vol. 21, N° 121, pp. 69-80.
- 4.- Rodriguez de Sensale, G. (2006). Strength development of concrete with rice-husk ash. Cement and Concrete Composites, Vol. 28, N° 2, pp.158-160.
- 5.- Malhotra, V.M., Mehta, P.K. (1996). Pozzolanic and Cementitious Materials. In: Advances in Concrete Technology, 1, Gordon and Breach Publ, Canada.
- 6.- Giaccio, G., Zerbino, R., Tobes, J. M., López, A., Isaia, G. C., Rodríguez de Sensale, G. (2006). Aprovechamiento de la ceniza de cáscara de arroz para la elaboración de hormigones. Ciencia y Tecnología del Hormigón, LEMIT, N° 13, pp. 7-20.
- 7.- Zerbino, R., Giaccio, G., Isaia, G. C. (2011). Concrete incorporating rice husk ash without processing. Construction and Building Materials, Vol. 25, N° 1, pp 371-378.
- 8.- Batic, O.R., Giaccio, G., Zerbino, R. (2008). Estudio de la reactividad álcali – sílice en hormigones con cenizas de cáscara de arroz. En: Memorias del III Congreso internacional y 17° Reunión Técnica AATH, Córdoba, Argentina. Eds. V Rahhal y J. Sota, pp.281-288.
- 9.- Batic, O.R., Giaccio, G., Zerbino, R., Isaia, G. (2010). Las Cenizas de Cáscara de Arroz y la Reacción Álcali Sílice. VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, CINPAR 2010, Córdoba, Argentina. Eds. J. Positieri, A. Oshiro y C. Baronetto. Libro de resúmenes p. 72. (Ed en CD).