

REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE EN CONDICIONES DE CAMPO

Milanesi, Carlos¹, Falcone, Darío², Giaccio, Graciela², Torrijos, María C.³, Zerbino, Raúl³

¹Cementos Avellaneda S.A. ²CIC. LEMIT - Facultad de Ingeniería UNLP, ³CONICET. LEMIT - Facultad de Ingeniería UNLP, LEMIT-CIC. 52 e/ 121 y 122. La Plata, 0221-4831142, zerbino@ing.unlp.edu.ar

RESUMEN

Existen diversos métodos para evaluar la aptitud de un agregado frente a la reacción álcali-sílice. Si bien los de largo plazo (IRAM 1700) son más confiables, es frecuente que se busque disminuir los tiempos (IRAM 1674) a expensas de la fiabilidad de resultados. Sin embargo, en los últimos años, crece el interés en estudiar bloques de hormigón bajo condiciones de campo ya que reproducen con mayor precisión la respuesta de las estructuras. De este modo, además de considerar las fluctuaciones en temperatura y humedad, se reducen los efectos de la lixiviación que puedan tener lugar en muestras pequeñas. Este trabajo presenta experiencias sobre bloques de hormigón; el cambio de escala (bloques vs probetas) influye no sólo en la cinética de reacción sino también sobre aspectos del mecanismo expansivo (patrón de fisuración, anisotropía) que no pueden evidenciarse bajo condiciones de laboratorio. El ensayo de bloques constituye una valiosa herramienta para calibrar los métodos acelerados.

Palabras claves: Reacción álcali-sílice, expansión, fisuración, métodos normalizados, bloques de hormigón.

INTRODUCCIÓN

La reacción álcali-sílice (RAS) es un problema de durabilidad a largo plazo que, bajo determinadas condiciones, puede afectar a las estructuras de hormigón, luego de varios años de construida la obra [1, 2]. Probablemente, no exista otro problema de durabilidad para el cual se hayan diseñado tantos métodos de ensayo como ocurre con la RAS [3, 4].

La búsqueda del método “ideal”, que permita predecir con certeza y celeridad el comportamiento en servicio de “cualquier” agregado ha mantenido ocupado, durante años, a un gran número de investigadores en todo el mundo [5]. Esto explica la gran cantidad de métodos que existe para evaluar la RAS y por qué la definición de los límites de reactividad perjudicial deben ser revisados permanentemente [6-8].

En nuestro país, los métodos físicos tradicionales para la evaluación de la aptitud de los agregados frente a la RAS son tres: el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) y el método del prisma de hormigón (IRAM 1700) en sus dos versiones, tradicional a 38 °C y acelerado a 60 °C.

En general, para lograr que los resultados de los métodos de ensayo puedan ser obtenidos con celeridad, el proceso de reacción es acelerado por diferentes mecanismos (aumento de la temperatura y de los álcalis, reducción de las dimensiones de las barras, procesamiento del agregado para aumentar su finura, entre otros). Un ejemplo es el método IRAM 1674, en el que se utilizan barras de mortero (25 mm x 25 mm de sección transversal), inmersas en solución 1N de NaOH, a 80 °C. Si bien con esta metodología es posible calificar la reactividad alcalina potencial del agregado a muy corta edad (16 días), la confiabilidad de los resultados es relativa, por cuanto el porcentaje de falsos negativos es elevado ($\approx 50\%$). Además, contrariamente a lo esperado, existen agregados de reactividad deletérea comprobada que este método no capta, al producir valores de expansión inferiores a los límites normativos. El canto rodado del río Uruguay, de alta reactividad (ópalo y calcedonia) y antecedentes de RAS en servicio, produce, bajo las condiciones de este ensayo, un gel de baja viscosidad, que limita la presión de expansión generada dentro del mortero, resultando una expansión inferior a 0,05 % [9]. En resumen, se acortan tiempos de ensayo a costa de reducir la confiabilidad de los resultados.

En el método del prisma de hormigón (IRAM 1700, a 38 °C), la temperatura de curado es moderada, se utiliza el agregado con la granulometría real (sin triturar) y las dimensiones de las probetas son algo mayores (75 x 75 x 300 mm). Esto hace que sus resultados sean altamente confiables, pero como contrapartida el período que demanda la obtención de sus resultados es elevado (1 año). Otra limitación que suele atribuirse a este método es la lixiviación de álcalis [10-12] que dificulta la determinación del denominado “umbral alcalino” (contenido de álcalis por debajo del cual no se produce expansión por RAS). Si bien RILEM propone un método específico para este fin [13], el tema constituye un punto de controversia actual entre diversos investigadores y hace que la búsqueda del método que permita evaluar la “fórmula de obra” aún continúe. En definitiva, los métodos actuales pueden valorar la reactividad alcalina potencial de los agregados y/o la eficiencia de las estrategias para atenuar la RAS (como el uso de adiciones minerales activas o sales de litio), pero no son capaces de valorar mecanismos que impliquen modificaciones en el umbral alcalino.

En los últimos años, diversos investigadores han puesto el énfasis en correlacionar los resultados de los ensayos acelerados de laboratorio con el desempeño de los agregados en condiciones reales de campo utilizando grandes bloques (prototipos), con dimensiones mínimas comparables a las estructurales reales y expuestos en ambiente natural. Si bien estos elementos tardan años en evidenciar los efectos de la RAS, constituyen una referencia como patrón de calibración para los distintos métodos de ensayo y permiten una mejor comprensión de los mecanismos de expansión de la reacción. Los centros más avanzados en el tema abordan estudios a esta escala [14-16].

Este trabajo muestra y discute los resultados de trabajos realizados en el LEMIT sobre bloques de hormigón: incluye experiencias realizadas con agregados potencialmente reactivos grueso y fino, incorporación de adiciones minerales activas (cenizas volantes, puzolana natural), limitación del contenido de álcalis del hormigón y el uso de fibras, entre otras variables que inciden sobre la RAS y sus efectos. Asimismo, contribuyen a la validación de métodos de ensayo y/o la comprensión de los mecanismos de reacción.

CASOS ESTUDIADOS

Durante años se analizaron diversos tipos de pequeños prototipos que pueden agruparse en tres casos de estudio, cada uno motivado por diversas razones: bloques expuestos en diversos ambientes, bloques con agregados reactivos fino y grueso y bloques conforme una propuesta de la RILEM. Para cada caso se describen los materiales empleados, detalles de las probetas y medios al cual fueron expuestas y los principales resultados.

Caso 1: Bloques con adiciones minerales expuestos en diversos ambientes

En 1995 se iniciaron estudios de RAS utilizando bloques de hormigón (0,3x0,3x0,6 m) que fueron sometidos a distintos curados a temperatura ambiente [17]. El objetivo principal era validar la fiabilidad de los ensayos acelerados de laboratorio (IRAM 1674 y 1700) para evaluar la efectividad de las adiciones minerales activas (AMA) para inhibir la RAS, bajo condiciones ambientales severas (suelo salino).

Los hormigones (bloques y prismas IRAM 1700) fueron elaborados con una arena silíceo natural inocua y un agregado grueso potencialmente reactivo procedente de la zona de Azul. Se trata de una migmatita granítica milonitizada constituida por un 60 % de cristales de cuarzo (tamaño promedio 50 μm) altamente deformados (ángulo de extinción ondulante 18°). Se utilizó un cemento de alto contenido de álcalis y diferentes porcentajes en reemplazo de cemento (0, 5, 20 y 40 %) de puzolana natural (ceniza volcánica ácida procedente de San Rafael) o de ceniza volante de bajo contenido de calcio (clase F, procedente de la central termoeléctrica de San Nicolás). El contenido de cemento + AMA fue 420 kg/m³, la relación agua/ligante 0,47 y el contenido de álcalis (Na₂O_{eq}) del cemento fue elevado a 1,25 % mediante la adición de NaOH en el agua de mezclado. Con los mismos materiales se fabricaron barras de mortero (IRAM 1674). Los prototipos fueron curados en cámara húmeda durante 7 días. A los 28 días se separaron en dos grupos, uno fue estacionado en cámara húmeda (23°C) y el otro fue enterrado en suelo salino (10000 ppm de ion SO₄²⁻).

La Figura 1 muestra los resultados de evaluación de la capacidad inhibidora de las dos AMA, empleando el enfoque prestacional de la norma IRAM 1531. Se observa que los resultados obtenidos por los métodos IRAM 1674 y 1700 no difieren significativamente entre sí y conducen a la misma conclusión: para inhibir la RAS es necesario incorporar un contenido de AMA ≥ 10 %. Según el criterio prescriptivo de IRAM 1531 (2016, tablas B1, B2, B3 y B6), el agregado grueso debería ser considerado moderadamente reactivo, ya que la expansión del hormigón (IRAM 1700) a 52 semanas es < 0,12 %. Dado que los prototipos se hallan en el exterior (ambiente húmedo), corresponde considerar un riesgo de RAS igual a 3; si se admite que la categoría de la estructura es S2 (vida útil < 75 años), el contenido de ceniza volante requerido para inhibir la RAS es igual al 20 %.

En la Figura 2 se compara la expansión de los prototipos de hormigón a los 8 años, en función del ligante empleado y del ambiente al cual fueron expuestos. Se observa que en el caso de la ceniza volante la solución propuesta por el criterio prescriptivo sigue siendo adecuada. Si bien la norma no considera el caso de las puzolanas naturales dentro del criterio prescriptivo, los niveles de expansión fueron muy bajos. También en este caso la solución coincide con la brindada por el criterio prestacional, lo cual permite afirmar que el uso de prototipos representa una herramienta importante para el estudio de la RAS.

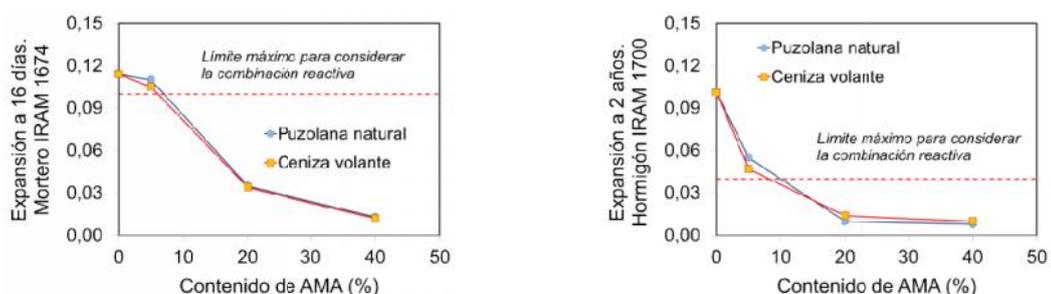


Figura 1: Determinación del contenido de AMA. Izq: IRAM 1674. Der: IRAM 1700.

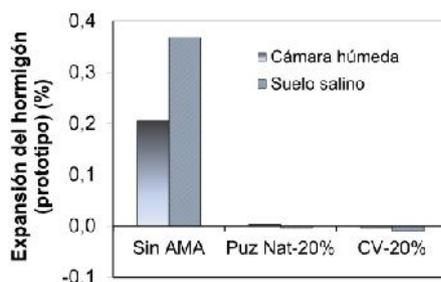


Figura 2: Eficiencia de las AMA en el control de la RAS.

Caso 2: Bloques para evaluación de mecanismos de RAS

Estas experiencias se realizaron con el objetivo de analizar el desarrollo de la RAS y sus efectos sobre las propiedades del hormigón en una escala más real. Para promover procesos deletéreos de diferentes características se consideraron el contenido de álcalis, el tamaño de los agregados reactivos (finos o gruesos) y la incorporación de fibras como medio de atenuación de daños. Este último tema se aborda en un trabajo paralelo.

Se fabricaron dos series (G y F) de bloques de hormigón (0,70×0,40×0,40 m) utilizando CPN40 ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ 0,73 %), arena silíceas natural (módulo de finura 2,07) y piedra partida granítica de 19 mm de tamaño máximo; el a/c fue 0,42 y el contenido unitario de cemento 380 kg/m^3 , incorporando en cada caso diferentes contenidos de álcalis total. En la serie G se incorporó como parte del agregado grueso (40 %) una arenisca cuarcítica altamente reactiva que posee granos de cuarzo tensionados rodeados por una matriz constituida principalmente por calcedonia y ópalo. En la serie F, la arenisca fue molida hasta tamaño de arena y se incorporó como reemplazo parcial de la arena natural (25 %). En este trabajo se analizan los bloques G1 y F1 con $2,8 \text{ kg/m}^3$ de álcalis provistos por el cemento y G2 y F2 que incorporan 4 kg/m^3 mediante el añadido de NaOH en el agua de mezclado.

Los bloques fueron de curados durante 7 días cubiertos con paños húmedos y luego expuestos a la intemperie durante 4 años. Sobre sus caras se fijaron puntos de acero inoxidable para medir los cambios de longitud en distintas direcciones. Las mediciones se realizaron todos los meses del año evitando leer después de días lluviosos. La Figura 3 presenta una vista de los bloques y el esquema de medición de las deformaciones en horizontal y vertical. Periódicamente se realizó el relevamiento de fisuras. El daño de los bloques también fue evaluado a través del coeficiente de permeabilidad al aire (kT). En forma paralela, se midieron la resistencia a compresión (todas las mezclas superaron los 30 MPa a 28 días) y las expansiones libres sobre prismas de 75x105x430 mm durante un año. Todas estas probetas se desmoldaron a las 24 h, se cubrieron con paños de algodón, se colocaron en bolsas de plástico con 5 ml de agua y se almacenaron en cámara húmeda ($T: 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{HR} > 95 \%$). Los resultados de las expansiones libres sobre prismas a 20°C se indican en la Figura 4.

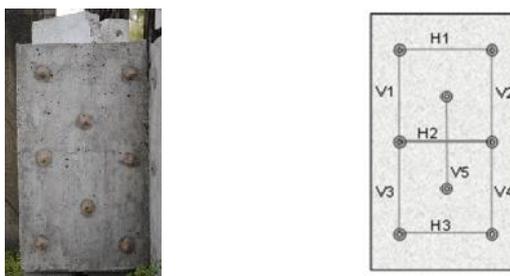


Figura 3: Vista de un bloque de hormigón y esquema de las mediciones de deformación.

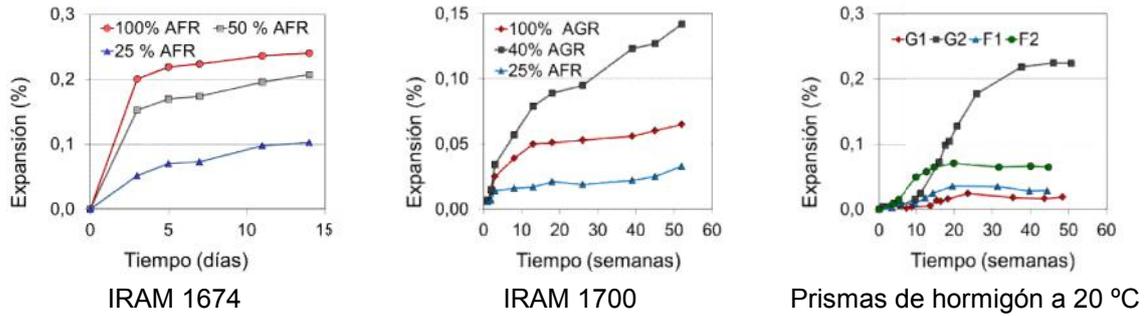


Figura 4: Expansión medida en prismas.

Como referencia, se realizaron ensayos según IRAM 1674 y 1700, utilizando los mismos agregados potencialmente reactivos en las proporciones normalizadas. La Figura 4 también incluye los resultados de ensayos sobre barras de mortero con 25 y 100 % de arena reactiva (AFR) y sobre prismas de hormigón con 25 % de AFR y con 40 y 100 % de piedra reactiva (AGR). La expansión a las 52 semanas (IRAM 1700) fue 0,065%; cuando se empleó 40 % de AGR la expansión creció a 0,142%. Cabe notar que el método de la barra de mortero no detectó efecto "pessimum" del agregado, mientras si lo hizo el del prisma de hormigón.

La Figura 5 presenta los valores promedio de las expansiones verticales (V) y horizontales (H) de las caras laterales de los bloques. Se observa que en G1 no hay expansión y que G2 tiene la máxima expansión. Las deformaciones no se estabilizaron y continúan aumentando; por el contrario, en los prismas de laboratorio (ver Fig. 4) las expansiones se estabilizaron a edades más tempranas. Esto puede atribuirse a diferentes capacidades de lixiviación alcalina entre pequeños especímenes y bloques. En la serie F las expansiones fueron menores que en la serie G. A los 3 meses se aprecia un aumento en la expansión y luego los incrementos disminuyen de manera significativa. Se observó un comportamiento similar en los prismas de laboratorio. Después de casi dos años F1 alcanzó valores de expansión similares a F2; en F2 la expansión se agotó en pocos meses mientras que con menos álcalis la expansión continúa lentamente a lo largo de los años. Las expansiones V son mayores que las H. Este comportamiento anisotrópico es coherente con la mayor fisuración horizontal; las mayores diferencias corresponden a G2. En la Serie F las diferencias entre las diferentes orientaciones disminuyen.

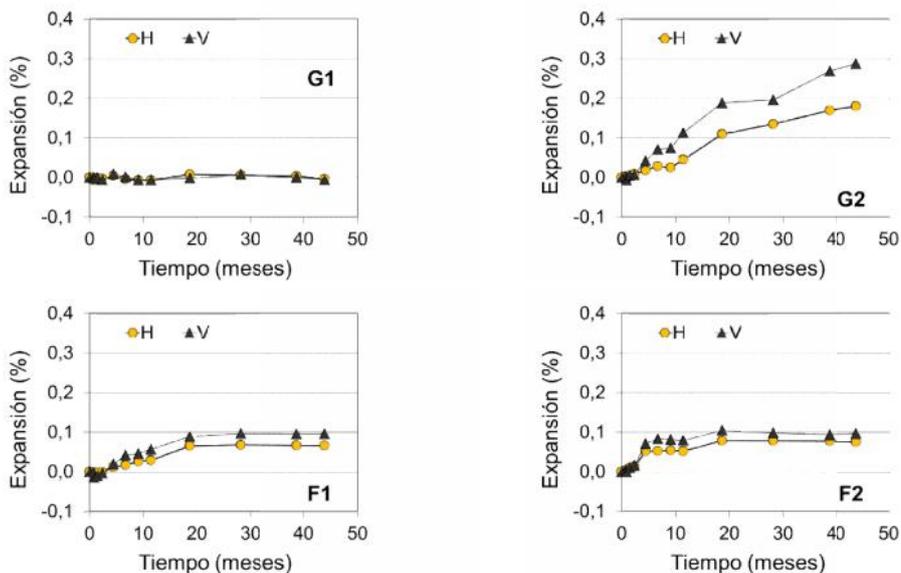


Figura 5: Medidas de expansión lineal promedio en diferentes direcciones de los bloques.

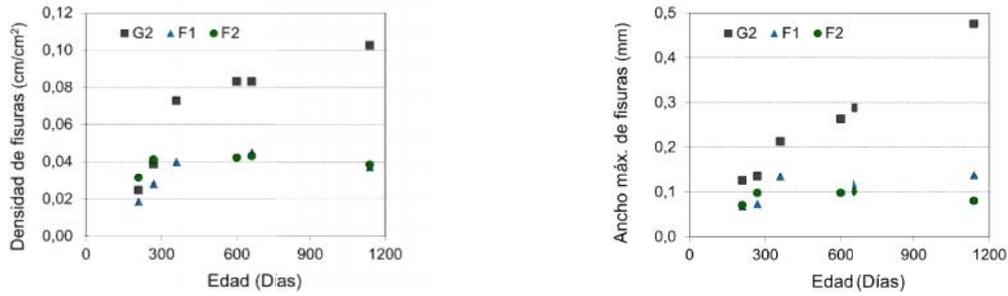


Figura 6: Evolución de la densidad y del ancho máximo de fisura sobre los bloques.

La Figura 6 presenta resultados del relevamiento de fisuras sobre los bloques a lo largo del tiempo; los valores de densidad y ancho máximo son promedio de las medidas sobre los cuatro laterales. Las fisuras comenzaron a ser visibles al cabo de 200 días. El bloque G2 presentó la mayor densidad de fisuras desde el comienzo y la diferencia creció con el paso del tiempo. En G1 no se detectaron fisuras y esto es coherente con las expansiones medidas. En la serie F se observaron fisuras en ambos bloques, la densidad de fisuras creció marcadamente hasta el primer año y luego se estabilizó. En todos los casos las primeras fisuras nacieron en los bordes verticales de los bloques, durante el primer año la mayor parte se orientó horizontalmente y al avanzar la RAS las fisuras se distribuyeron aleatoriamente. Esto es acorde con el hecho de que las expansiones verticales fueron mayores que las horizontales. En relación al ancho de fisura, nuevamente el mayor valor corresponde a G2, pero a diferencia de la densidad de fisuras, crece continuamente con el tiempo. En la serie F, el aumento del ancho de fisura sigue una tendencia similar a la densidad de fisuras, crece hasta el primer año y luego se estabiliza. El ancho de fisura es también menor en los hormigones F que en los G. La mayor localización de RAS con agregados gruesos reactivos condujo a mayores anchos de fisuras.

Como una forma de evidenciar el daño en los bloques se midió la permeabilidad al aire. La Figura 7 muestra la evolución de la permeabilidad y la calificación del hormigón de acuerdo a este parámetro (Torrentmeter). A excepción de G1, que permaneció como *bueno*, la permeabilidad creció con el tiempo; todos los hormigones con alto contenido de álcalis alcanzaron coeficientes muy altos, y a 2 años ya calificaron como *malos* o *muy malos*. Esto es concordante con el relevamiento de fisuras pero es importante destacar que los cambios en permeabilidad aparecieron antes (microfisuración) que las fisuras visibles. La Figura 7 también muestra un detalle del prototipo G2 y de un prisma del mismo hormigón que permaneció junto al bloque donde se ve claramente que mientras que existe fisuración extensiva en la superficie del bloque, con anchos de fisuras muy importantes, en el prisma sólo aparecen algunas fisuras mucho más pequeñas.



Figura 7: Evolución de la permeabilidad y detalle de fisuras sobre un prototipo y un prisma de G2.

Tabla 1: Variación de longitud (%) del hormigón ante distintas condiciones de exposición.

Mezcla	Tipo de elemento	Cubos (arista 0,3 m)		Prismas (70x70x300 mm)		
	Exposición	Ambiente La Plata		38°C		60°C
	edad (semanas)	52	156	52	156	40
1	CPC40 (0,65 % álcalis)	-0,032	-0,008	0,003	0,009	0,007
2	CPN40 (0,86 % álcalis)	-0,014	-0,007	0,006	0,010	0,008
3	CPN40 + 23% CV	-0,006		0,004		0,020

Caso 3: Experiencias en base a la propuesta de RILEM

En la actualidad se aplica la propuesta de RILEM sobre cubos de 0,3 m de arista para el estudio de la RAS. Entre ellas aparece un estudio de la efectividad para inhibición de la RAS de un cemento compuesto que incorpora una puzolana natural en hormigones que incorporan un agregado reactivo de la zona de San Rafael. Dicho agregado presenta una expansión a 16 días de 0,424 % (IRAM 1674) y una expansión a 52 semanas de 0,083 % (IRAM 1700), lo que manifiesta su reactividad. Con el mismo agregado se realizaron estudios similares con CPN40. Las mezclas 1 y 2 se elaboraron con 420 kg/m³ de CPC40 y CPN40, relación a/c 0,42; y contenidos de álcali 2,73 kg/m³ y 3,61 kg/m³. Por último la mezcla 3 es un hormigón que incorpora arena natural muy reactiva de la zona de Bahía Blanca (expansiones 0,512 % y 0,390 % según IRAM 1674 y 1700 respectivamente). En este caso se reemplazó 23% en peso de CPN40 por ceniza volante (CV) para atenuar la RAS. En ambos casos el principal material reactivo lo constituye el vidrio volcánico.

Los cubos de hormigón se curaron 28 días en cámara húmeda, y luego se ubicaron a la intemperie sobre una cama de arena, sometidos a las variaciones estacionales de la zona (ciudad de La Plata). En paralelo se moldearon prismas de 70x70x300 mm siguiendo la norma IRAM 1700, que fueron expuestos a 38°C y a 60°C. En la Tabla 1 se presentan las expansiones medidas. Se observa que en los ensayos normalizados los hormigones no presentaron expansión, indicando la efectividad de las soluciones adoptadas. Con los cubos se verificó que en condiciones ambientales naturales, un mayor volumen de material con menor riesgo de lixiviación, no se manifiestan efectos de la RAS.

CONSIDERACIONES FINALES

Los estudios verifican la validez del uso de muestras a escala de pequeños prototipos como herramienta para estudiar e interpretar los mecanismos involucrados en la RAS y las medidas de prevención o atenuación. El bloque se aproxima y representa de algún modo las condiciones imperantes en la estructura y permite detectar aspectos que no suelen aparecer en los ensayos normalizados. En los bloques del caso 1, expuestos en diversos ambientes, ya para una edad menor a la recomendada por los reglamentos para verificar la RAS, se manifestaron los efectos de la reacción y se verificaron las medidas de inhibición a partir del uso de AMA. Contrariamente a lo que podría presumirse por tratarse de un agregado de reacción lenta, cuando no se usaron AMA se manifestó la RAS en el bloque antes de los 10 años, en forma virulenta, con geles y fisuras; verificando también una menor resistencia mecánica.

Cuando se estudiaron agregados potencialmente reactivos de diferente tamaño, caso 2, se observaron fisuras importantes en los prototipos, confirmando que el volumen de hormigón aumenta el desarrollo de expansiones y fisuración por RAS. En las probetas sólo se observaron algunas fisuras muy pequeñas. El tamaño del agregado modificó la cinética de la reacción y el patrón de fisuración. Con agregados gruesos y alto contenido

de álcalis las expansiones y la fisuración fueron muy importantes y continúan creciendo después de varios años; con contenidos de álcalis menores las expansiones fueron insignificantes. Cuando se utilizó arena potencialmente reactiva, las expansiones y las fisuras fueron menores y ambos hormigones mostraron similar expansión a edades avanzadas. La expansión tiende a estabilizarse próximo a los dos años, indicando que probablemente se agotaron algunos factores involucrados en la RAS. Aunque la mezcla con 25 % de arena reactiva se manifestó como no reactiva según IRAM 1700, en los bloques F1 y F2 se produjo una degradación importante, por lo que merece ser estudiada la efectividad del método del prisma de hormigón para evaluar una "combinación de agregados". Por el contrario, con piedra potencialmente reactiva los prismas predecían respuesta deletérea. La anisotropía provocada por la RAS a nivel estructural no se evidencia en las probetas. Las diferencias entre distintas direcciones son un aspecto distintivo del prototipo y debería reflejarse al simular numéricamente estructuras dañadas.

REFERENCIAS

- [1] Fournier, B, Bérubé, MA. "Alkali-aggregate reaction in concrete – A review of basic concepts and engineering implications". Canadian J of Civil Eng, 27 2, (2000), 167-191
- [2] Batic OR, Sota JD. "Reacciones deletéreas internas", en Durabilidad del hormigón estructural (EF Irassar ed), AATH, La Plata, (2001), 157-216.
- [3] Bérubé, MA, Fournier, B. "Accelerated test methods for alkali-aggregate reactivity" Proc. Int Symp on advances in concrete technology (Malhotra, VM ed), Athens, (1992), 583-627.
- [4] Falcone, D. "Antecedentes y metodología de ensayo para evaluar la reacción álcali-sílice" Tesis de Maestría, UNCPBA, Olavarría, (2013), 128 p.
- [5] Lu, D, Fournier, B, Grattan-Bellew, PE, Xu, Z, Tang, M "Development of a universal accelerated test for alkali-silica and alkali-carbonate reactivity of concrete aggregates". Materials and Structures 41, (2008), 235-246.
- [6] Grattan-Bellew, PE "Evaluation of test methods for alkali-aggregate reactivity". Proc 6th Int Conf on alkalis in concrete. (Idorn & Rostam eds), Danish Conc Inst, Copenhagen, (1983), 303-314
- [7] Grattan-Bellew, PE "Test methods and criteria for evaluating the potential reactivity of aggregates" Proc 8th Int Conf on alkali-aggregate reaction in concrete, Elsevier (1989), 279-294.
- [8] Grattan-Bellew, P.E. "A critical review of accelerated ASR tests". Proc 10th Int. Conf on alkali-aggregate reaction in concrete (Shayan Ed), CSIRO, Melbourne, (1996), 27-38.
- [9] Falcone, D, Milanese C. "Evaluación de la reacción álcali-agregado: posibilidades y limitaciones de los métodos de ensayos disponibles". XX RT AATH., Concordia (2014), 319:326
- [10] Rogers, CA, Hooton, RD. "Leaching of alkalis in alkali-aggregate reaction testing" In Proc. 8th Int. Conf on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (Okada et al eds), Elsevier (1989), 327-332.
- [11] Lindgård, J, Andiç-Çakır, Ö, Fernandes, I, Rønning, TF, Thomas, MDA. "Alkali-silica reactions (ASR): Literature review on parameters influencing laboratory performance testing" Cement and Concrete Research 42, (2012), 223-243
- [12] Lindgård, J, Thomas, MD, Sellevold, EJ, Pedersen, B, Andiç-Çakır, Ö, Justnes, H, Rønning, TF "Alkali-silica reaction (ASR) performance testing: Influence of specimen pretreatment, exposure conditions and prism size on alkali-leaching and prism expansion" Cement and Concrete Research 53, (2013), 68-90.
- [13] Sims, I., Hawthorn, F., Nixon, P. "Developing an international specification to combat AAR – Proposals of RILEM TC 191-ARP". En 12th Int Conf on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, (Tang, M., Deng, M. Eds), Beijing: Int Acad Pub – WPC, 1: (2004), 8-16.
- [14] Borchers, I., Müller, C. "Seven years of field site tests to assess reliability of different laboratory test methods for evaluating the alkali-reactivity potential of aggregates". Proc. 14th Int Conf on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, (Drimalas et al ed), Austin, (2012), 10 p.
- [15] Ideker J.H., Drimalas T., Bentivegna A.F., Folliard K.J., Fournier B., Thomas M.D.A., Hooton R.D., Rogers C.A., "The importance of outdoor exposure site testing", Proc. 14th Int. Conf. on AAR in Concrete, Texas (T Drimalas et al. Eds), (2014), 10 p.
- [16] Hooton, R.D., Rogers, C., MacDonald, C.A., Ramlochan, T. Twenty-year field evaluation of alkali-silica reaction mitigation. ACI Materials Journal. 110 (5), (2013), 539-548.
- [17] Batic, O.R., Milanese, C.A., Sota, J.D. "Evaluación de la eficiencia de las adiciones minerales activas en el control de la reacción álcali-sílice en hormigones elaborados con agregados de reacción lenta o diferida" Revista Hormigón 40 AATH, (2004), 19-29.