



Influencia del tamaño de las partículas del agregado reactivo frente a los álcalis en las barras de mortero

Influence of reactive aggregate size front to the alkalis in mortar bars

Falcone, Darío D. ¹⁻² ✉ - Coelho dos Santos, Gabriela S. ¹⁻³

Recibido: 13 de Julio de 2012 • Aceptado: 07 de Abril de 2013

Resumen

Uno de los temas más investigados vinculado a la durabilidad de las estructuras de hormigón es la reacción álcali-silíce (RAS), ya que esta reacción se produce dentro del hormigón y provoca fallas estructurales de gran importancia cuando no es controlada. Para que se produzca necesitamos un agregado potencialmente reactivo, álcalis (cemento portland) y humedad. La reacción produce un gel silico-alcálico expansivo que genera fisuras y deterioro de las estructuras de hormigón. Otros factores que controlan la RAS son el porcentaje y el tamaño de partícula de agregado reactivo, que pueden generar un efecto de "pessimum" produciendo valores de máxima expansión en morteros u hormigones.

En el presente trabajo se tratará de establecer, mediante el ensayo acelerado de la barra de mortero, si el efecto de "pessimum" se hace efectivo a un tamaño de partícula específico de agregado reactivo. En la confección de los morteros se utilizó un agregado fino compuesto por 90% de arena natural silico-feldespática no reactiva y un 10% de arenisca "de Chaco" (arena de trituración) potencialmente reactiva, tomando de esta última diferentes fracciones granulométricas para la realización de las distintas mezclas. Los resultados del ensayo físico y el análisis petrográfico de las barras muestran que los mayores valores de expansión coinciden con un rango granulométrico determinado y estos resultados se corroboran por la presencia de los rasgos deletéreos observados durante el estudio petrográfico.

Palabras Clave: morteros, arenisca, RAS, tamaño de partícula, "pessimum".

Abstract

One of the most researched topics in the durability of concrete structures is the alkali-silica reaction (ASR), since this reaction produced in the concrete because of the presence of a potentially reactive aggregate, alkali (present in Portland cement) and humidity - causes structural failures of great importance when

1. Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. La Plata - Argentina.

✉ durabilidad@lemit.gov.ar

2. Profesional Principal CIC-LEMIT-
Docente Facultad de Ingeniería, UNLP

3. Personal de Apoyo CIC-LEMIT

it is not controlled. The reaction produces a silico-alkaline expansive gel generating cracks and deterioration of the structures of concrete. Other factors controlling the RAS is the percentage and the particle size of reactive aggregate, which can generate an effect of "pessimum" on mortar and concrete studied in the present work through the Mortar-Bar Method.

In the mortar a fine aggregate was used, consisting of 90% of non-reactive natural sand and 10% reactive crushed sand ("Chaco" sandstone) varying the size of the granulometric fraction. The influence of the aggregate size in the bars is expressed both in expansion values determined in the test as the petrographic analysis on thin sections, determining that the highest values of expansion coincide with a specific granulometric rang, corroborated by the deleterious features found in thin sections of mortars.

Keywords: mortars, sandstone, ASR, aggregate size, "pessimum".

INTRODUCCIÓN

La reacción álcali-sílice (RAS) se produce entre los iones hidroxilos de la solución fuertemente alcalina contenida en el "líquido de poros" del hormigón y ciertos componentes silíceos presentes en los agregados como son la calcedonia, tridimita, cristobalita, ópalo, vidrio volcánico y cuarzo tensionado de origen metamórfico (Fava et al., 1961; Cortelezzi et al., 1990; Cortelezzi et al., 1991; Batic et al., 1990), en presencia de humedad superior al 80% de manera permanente o periódica (Hansen, 1944; Batic y Sota, 1991; Falcone et al., 2006). La reacción produce un gel silico-alcálico expansivo que genera la fisuración y como consecuencia el deterioro de las estructuras de hormigón (Colina et al., 1967; Batic et al., 1990; Bérubé y Fournier, 1993; Batic y Sota, 2001). El efecto "pessimum" se define como el máximo nivel de expansión que ocurrirá con un contenido particular de los constituyentes reactivos (Sims y Nixon, 2003). Batic y Sota (2001) expresan que agregados que

contienen ópalo o vidrio volcánico como constituyentes reactivos presentan la máxima expansión para una proporción o para un tamaño determinado de las partículas reactivas, dando lugar a un efecto de "pessimum". Trabajos como los de Kodama y Nishino (1987), Grattan-Bellew (1989) y Zhang et al. (1999) entre otros muestran la influencia del tamaño de partícula sobre expansiones debidas a la RAS en barras de mortero y hormigones confeccionados en laboratorio.

En Argentina, estudios recientes demuestran la reactividad potencial alcalina de ciertas areniscas utilizadas como agregado para el hormigón. Marfil et al. (2012) comprueba la reactividad de areniscas cuarzosas cementadas con sílice identificada como calcedonia, tridimita, cristobalita, y ópalo. Las muestras estudiadas corresponden a una cantera en la provincia de Corrientes y fueron ensayadas por el método del prisma de hormigón (ASTM C 1293, 2008) y por el método acelerado de la barra de mortero (ASTM C 1260, 2008).

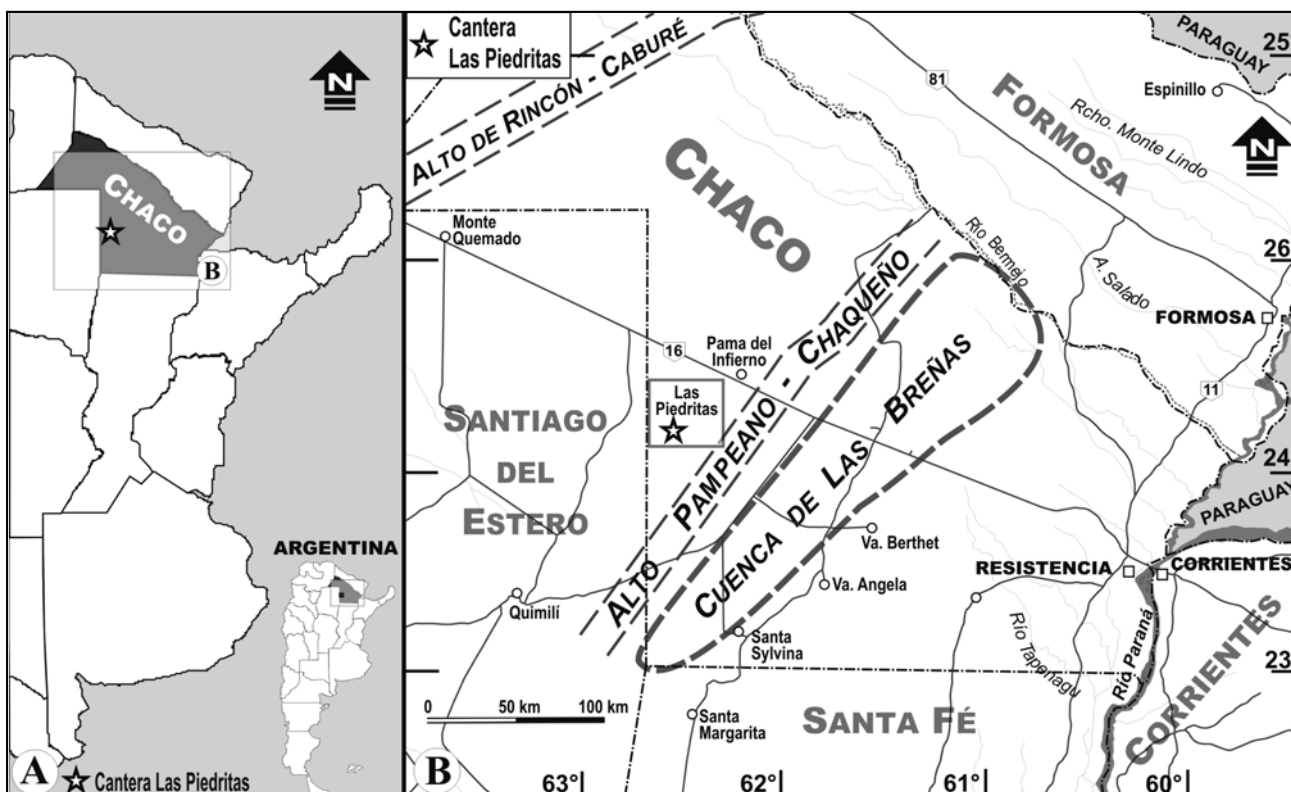


Figura 1. Mapa ubicación de la cantera Las Piedritas; (A) en el marco de la República Argentina; (B) en el marco regional destacándose los aspectos estructurales más importantes. Mapa de autor, basado en el mapa geológico de la República Argentina, Servicio Geológico Minero Argentino. Escala 1:2.500.000 (año 1997).

La arenisca en estudio ha sido evaluada durante los últimos 20 años con distintos ensayos físicos de laboratorio (IRAM 1637, 1992; IRAM 1674, 1997; IRAM 1700, 1997) confirmando su alto potencial reactivo frente a los álcalis del cemento portland (Batic et al., 1995; Coelho dos Santos y Falcone, 2012) y pertenecen a muestras tomadas de la cantera “Las Piedritas”, provincia de Chaco (Figura 1), cuyo afloramiento rocoso es designado actualmente como Formación Las Piedritas. Existen diversas interpretaciones respecto a su origen, de posible correlación con areniscas pliocenas de la Formación Ituzaingó o con la Formación Tacuarembó de edad Jurásico-Cretácico. Sin embargo, la edad y significado geológico de estos registros sedimentarios son aún inciertos (Peri y Rossello, 2010). Batic et al. (1995) describen el afloramiento del frente de la cantera, constituido por tres niveles de ortocuarcitas que completan 10 m de potencia, encontrando de base a techo: ortocuarcitas blancas a rosadas, ortocuarcitas rosadas con cemento calcáreo y ortocuarcitas rojizas muy compactas con cemento silíceo, venas de cuarzo y niveles arcillosos blanquecinos. Por último en discordancia angular sobre las ortocuarcitas yace un cuerpo de 3m de calizas macizas, sin estructuras sedimentarias, más friables hacia la base con clastos de ortocuarcitas rojizas. Las muestras utilizadas en el estudio se tomaron del último nivel de ortocuarcitas descripto.

El objetivo del presente trabajo es estudiar a través del método acelerado de la barra de mortero y de las técnicas petrográficas la incidencia del tamaño de las partículas reactivas sobre los valores de expansión en los distintos morteros, y el efecto de “pessimum” producido a un determinado rango granulométrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de los morteros, las muestras de arenisca fueron trituradas a tamaño arena y fraccionadas con los tamices IRAM 4,75mm - 2,36mm (4-8), IRAM 2,36mm - 1,18mm (8-16), IRAM 1,18 - 0,60mm (16-30), IRAM 0,60 - 0,30mm (30-50) e IRAM 0,30 - 0,15mm (50-100). Las fracciones fueron lavadas para eliminar el polvo producto del proceso de trituración y secadas en estufa a 100 ± 5 °C, hasta peso constante. En el caso de la arena de composición sílica feldespática caracterizada como no reactiva, denominada “Arena Oriental” (AO) se utilizó con la granulometría natural. Para la mezcla se empleó un cemento portland normal CPN 40 de alto álcalis, con contenidos de óxido de sodio equivalente (Na₂O_{eq}) igual a $0,9 \pm 0,1\%$ y agua desmineralizada. Para elaborar la solución de estacionamiento se utilizó NaOH p.a. (pro análisis).

Los ensayos se realizaron según el método acelerado de la barra de mortero, IRAM 1674 (1997)/ASTM C 1260 (2008), que consiste en mezclar el mortero en estado fresco de forma mecánica durante 4 minutos, luego se llenan los moldes (25mm x 25mm x 280mm) en dos capas y se almacenan a 20 ± 2 °C, sin pérdida de humedad. Las barras se desmoldan a las 24 horas de edad, se realiza una lectura de referencia y se sumergen en agua, a temperatura ambiente, llevando el conjunto a estufa a 80 ± 2 °C durante 24 horas. Pasado este tiempo, se realiza la lectura inicial de las barras y se sumergen en una solución 1N de NaOH a 80 °C. Periódicamente se realizan lecturas, por ejemplo, cada 48 horas hasta los 16 días de edad.

Para estudiar la reactividad alcalina potencial de la arenisca y la influencia del tamaño de las partículas reactivas en la expansión de morteros, se realizaron 5 mezclas en la cual se reemplazó el 10% de una arena sílica feldespática natural no reactiva (AO) por fracciones de distinto tamaño de una arenisca reactiva de trituración (arenisca de la Formación Las Piedritas o “de Chaco”). En la Tabla 1 se indican las proporciones de cada mezcla, elaboradas con 900 g de agregado fino, 400 g de cemento y 188 g de agua de mezclado, con lo cual la razón agua/cemento es de 0,47.

Una vez finalizado el ensayo acelerado de la barra de mortero, se procedió a la realización de secciones delgadas de las barras como así también de la arenisca en estado natural. El estudio petrográfico-mineralógico de la arenisca se realizó sobre la base de la norma ASTM C 295 (2008) y el análisis petrográfico de los morteros fue realizado según lo especificado en la norma ASTM C 856 (2008), utilizando lupa binocular (Olympus SZ61) y microscopio petrográfico de polarización (Olympus BH2-UMA). Para la toma de fotografías y el procesamiento de imágenes se utilizó una cámara digital Sony ExwaveHAD conectada al microscopio óptico de polarización y una cámara fotográfica digital INFINITY1-3C conectada al equipo de lupa binocular, ambas con software de procesamiento de imágenes manejados en PC (Image Pro-Plus 6.3.e INFINITY respectivamente).

RESULTADOS

Resultado del método acelerado de la barra de mortero:

En el gráfico de la Figura 2a se muestran las expansiones experimentadas por las barras confeccionadas con las fracciones granulométricas correspondientes a los tamices IRAM 4,75mm - 2,36mm (4-8), IRAM 2,36mm - 1,18mm (8-16), IRAM 1,18 - 0,60mm (16-30), IRAM 0,60 - 0,30mm (30-50) e IRAM 0,30 - 0,15mm (50-100). En el gráfico correspondiente a la Figura 2b se relaciona el tamaño de partícula con los valores de expansión obtenidos en el ensayo.

Tabla 1. Composición de las mezclas.

Mezcla	Denominación	Fracciones (mm) de la Arenisca					Arena Natural
		4,75 - 2,36	2,36 - 1,18	1,18 - 0,60	0,60 - 0,30	0,30 - 0,15	
1	4-8	90 g	-	-	-	-	810 g
2	8-16	-	90 g	-	-	-	
3	16-30	-	-	90 g	-	-	
4	30-50	-	-	-	90 g	-	
5	50-100	-	-	-	-	90 g	

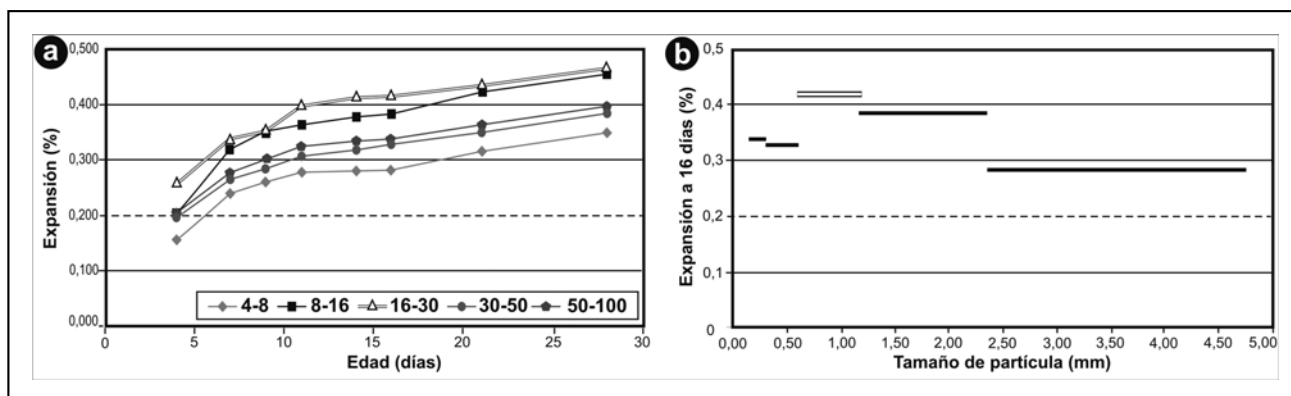


Figura 2. (a) Expansión de morteros en el tiempo. (b) Influencia del tamaño de partícula.

Petrografía de la arenisca:

Bajo lupa binocular la arenisca rojiza carece de estructuras sedimentarias (Figura 4A), granulométricamente homogénea, bien cementada y posee venillas de calcita.

La descripción microscópica de la sección delgada permite definirla como una arenisca cuarzosa constituida por abundantes clastos redondeados a subredondeados, de granulometría gruesa a media (0,8 a 0,2mm), de cuarzo límpido, cuarzo policristalino de secciones circulares y alargadas de origen metamórfico y de cuarzo microcristalino, con características tipo chert, con un alto grado de redondeamiento, escasos granos de feldspatos alcalinos y pastas de rocas volcánicas silíceas. La roca también se observa constituida por clastos subangulosos a subredondeados de cuarzo y feldspatos, a los que se agregan escasos granos de circón, apatito, opacos (hematita) y láminas micáceas de granulometría fina a muy fina (0,2 a 0,07mm) hasta limosa (inferiores a 0,07mm). El cemento de la roca está constituido principalmente por cuarzo microcristalino, ópalo y por una combinación de ópalo y calcedonia en sectores localizados del corte (Figura 3).

Petrografía de las barras de mortero:

Bajo lupa binocular se observa, en la superficie de las barras confeccionadas con las fracciones de la arenisca “de Chaco” 4-8 y 8-16, abundantes fisuras muy marcadas, mientras que en las barras realizadas con la granulometría 16-30 se detectan microfisuras que conforman pequeñas redes en sectores localizados y en las probetas confeccionadas con las fracciones 30-50 y 50-100, se identifican pequeñas redes de microfisuras.

Cabe aclarar que en la observación petrográfica de un hormigón o mortero se describen sus partes constituyentes: el agregado y las posibles modificaciones que a este le ocurra, la pasta de cemento, tanto su composición como sus afecciones (poros, fisuras, etc.) y la interfase, que es el límite o zona de transición entre el agregado fino o grueso y la pasta de cemento (ASTM C 856, 2008). El material neoformado producto de la RAS es un gel (amorfo) sílico-alcalino, que bajo microscopio óptico de polarización a nicols paralelos es incoloro o castaño y a nicols cruzados es isótropo o puede presentarse iluminado por la presencia de cristales de calcita.

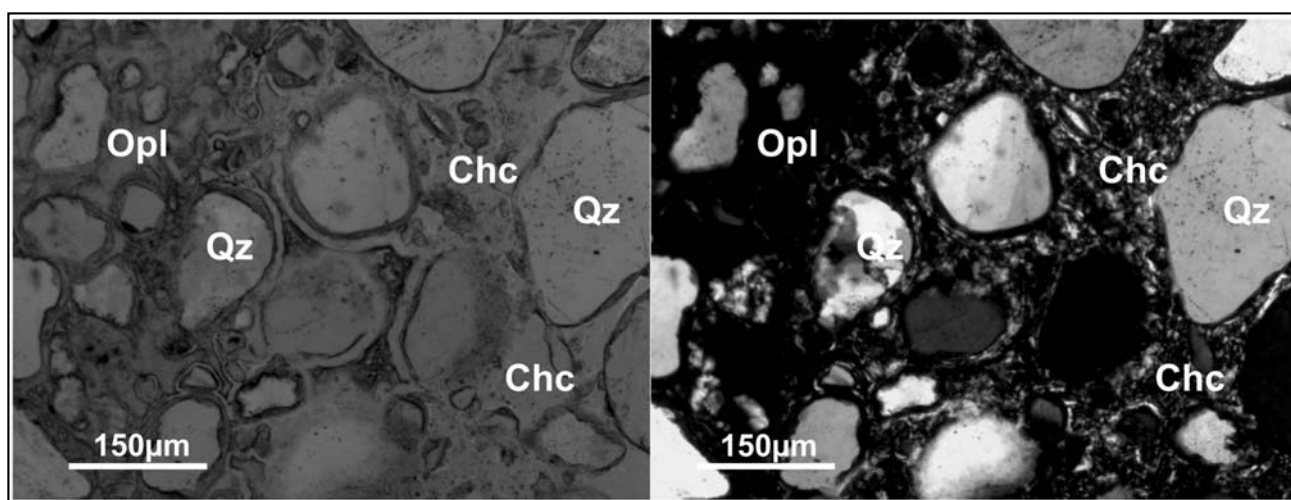


Figura 3. Fotomicrografías de la arenisca de la Formación Las Piedritas a nicols paralelos y a nicols cruzados. Partículas de cuarzo (Qz); ópalo (Opl) y calcedonia (Chc). Simbología de los minerales tomada de Chace (1956), Whitney y Evans (2010).

En base a lo expresado en el párrafo anterior se han realizado observaciones de secciones tomadas de las probetas. En ellas, en especial las conformadas por las fracciones granulométricas mayores, la arenisca de trituración presenta importantes modificaciones del material cementante original de la roca (ópalo y calcedonia), el cual puede perderse o estar total o parcialmente reemplazado por material de la RAS (gel) de color blanco o blanco amarillento. Las interfases de las partículas de arenisca con la pasta de cemento del mortero están afectadas por microfisuras y gel de reacción. En general, la pasta de cemento de las probetas se observa sin mayores cambios, detectándose en todas ellas poros, en su mayoría de sección circular y rellenos de gel producto de la RAS. (Figura 4B, C y D).

Bajo microscopio óptico de polarización se observan con mayor detalle los rasgos deletéreos y componentes neoformados (geles) producto de la reacción álcali agregado, analizándose en profundidad las secciones delgadas de los morteros confeccionados con las fracciones granulométricas 4-8 (4,75 - 2,36mm), 16-30 (1,18 - 0,60mm) y 50-100 (0,30 - 0,15mm). En las descripciones obviaremos a la arena natural (cuarzo feldespática) no reactiva y a los componentes de la pasta de cemento.

Corte I: En la sección correspondiente a la barra confeccionada con la fracción 4-8, el agregado en estudio (arenisca de la formación Las Piedritas), presenta modificaciones importantes, como es la pérdida y/o reemplazo del material cemen-

tante de los granos de cuarzo de la arenisca, observándose cavidades o presencia de gel de RAS en su lugar (Figura 5A). En la pasta de cemento se observan importantes fisuras algunas de ellas con una apertura de aproximadamente $75\mu\text{m}$ (Figura 5B) las cuales pueden ser de varios milímetros y afectar a las interfases pasta-agregado. En la mayoría de los casos las fisuras se encuentran rellenas con gel de RAS, que puede apreciarse como un material incoloro o castaño y al cruzar polarizadores se mantiene isótropo (amorfo) o pobremente cristalino con muy baja birrefringencia. También se observan varias interfases pasta-agregado afectadas por fisuras y/o geles de reacción e irradian de la arenisca, se extiende por la pasta y están rellenas con gel (Figura 5B). Es importante la presencia de poros de secciones circulares, en general inferiores a los 2mm con geles de RAS en su interior, presentes en la pasta de cemento y en general relacionados a fisuras (Figura 5C-D).

Corte II: En el corte correspondiente al mortero con la fracción 16-30, las modificaciones en la arenisca son menos marcadas debido a un menor tamaño de grano de la fracción utilizada, aunque se identifican varios granos de la arenisca con pérdida del material cementante (Figura 5G) o reemplazado por geles de RAS (Figura 5F-G-H). También se detectan fisuras que tienen origen en la arenisca y están rellenas con gel, pero estas son de menor apertura que las observadas en el corte anterior (Figura 5E). Los poros rellenos con el gel son abundantes

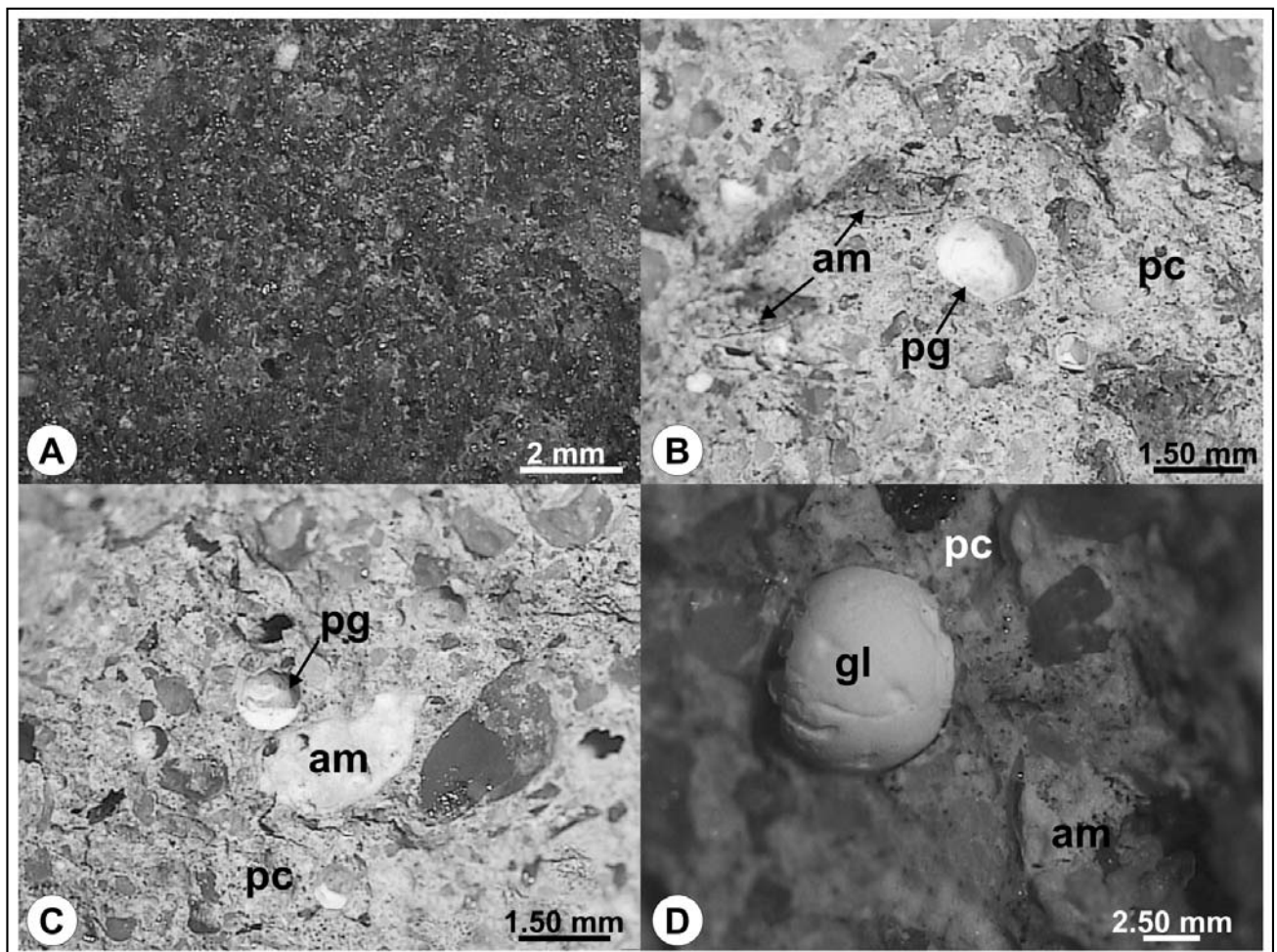


Figura 4. Fotografías tomadas bajo lupa. (A) Arenisca de la Formación Las Piedritas. (B, C y D) Mortero y en él se señala: arenisca modificada (am), la pasta de cemento (pc), poros con gel (pg) y el gel (gl).

(Figura 5E-F) y en muchos casos se hallan en la interfase pasta-agregado (Figura 5F). A nicoles cruzados, la pasta de cemento se observa isotrópica debido a la presencia del citado material de reacción.

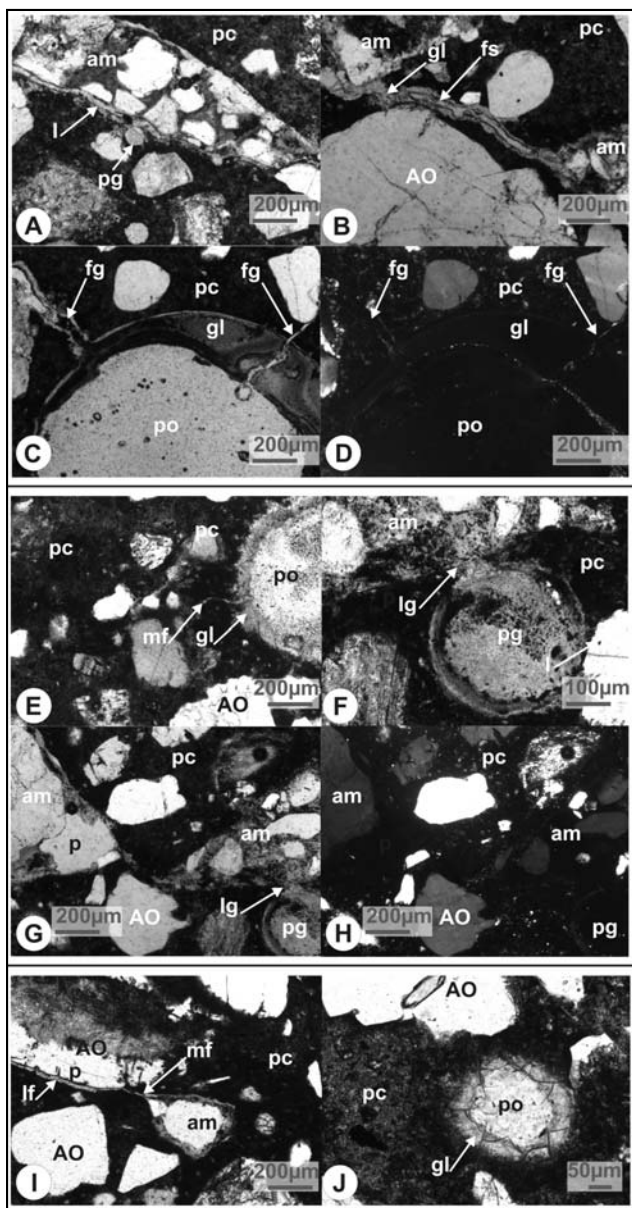


Figura 5. Fotomicrografías de los cortes delgados de los morteros. Se indica, arena oriental (AO) no reactiva, arenisca modificada (am), pasta de cemento (pc), poros (po), porosidad en la roca (p), poros rellenos de gel (pg), interfase pasta-agregado (I), interfase fisurada (If) e interfase con gel (Ig), fisuras (fs), fisuras con gel (fg), microfisuras (mf) y gel (gl) producto de la RAS.

Corte III: El tercer corte analizado corresponde al mortero con la fracción de menor tamaño de partícula (50-100). Los granos de cuarzo que formaban parte de la arenisca han sido "liberados" o separados del cemento silíceo de la roca, por lo tanto la modificación del agregado no es tan evidente y se pueden observar algunos cambios significativos en los bordes de los granos de cuarzo donde aún conservan adheridos parte del material cementante de la roca (Figura 5I) o en trozos de agregado que corresponden únicamente al cemento silíceo de la arenisca. En la pasta de cemento se identifican abundantes microfisuras de espesor inferior a 10µm y de extensiones menores a 5mm (Figura 5I). El gel de reacción se observa rellenando poros (Figura 5J), fisuras, impregnando a la pasta de cemento y reemplazando totalmente a ciertos fragmentos de agregado reactivo.

CONCLUSIONES

1. Petrográficamente se clasifica a la arenisca en estudio como un agregado potencialmente reactivo frente a los álcalis del cemento portland debido a que mineralógicamente posee una proporción de ópalo y calcedonia mayor al 5%, límite especificado por el reglamento *CIRSOC 201 (2005)*.
2. En los gráficos se aprecia que las expansiones en los morteros son mayores, en todos los casos, al valor máximo establecido por la norma *ASTM C 1260 (2008)* y que el efecto de "pessimum" ocurre para la fracción granulométrica comprendida entre el tamiz IRAM 1,18mm y 0,60 mm.
3. La reactividad alcalina potencial del agregado en estudio queda confirmada por el análisis petrográfico-microestructural de los cortes delgados de las barras, observándose importantes rasgos deletéreos propios de RAS tanto en la arenisca de trituración como en la pasta de cemento. Entre estos rasgos se enumeran: abundantes fisuras en la pasta de cemento y en las interfaces pasta-agregado rellenas por gel de RAS y abundantes poros en la pasta de cemento rellenos también por material de la reacción.
4. Por último, desde el punto de vista del análisis petrográfico y microestructural, podemos decir que el efecto de "pessimum" en la barra de mortero confeccionada con la fracción 16-30 no genera los rasgos deletéreos más significativos, por el contrario, estos se aprecian mejor en las barras constituidas con las fracciones granulométricas mayores en donde las fisuras y poros con geles de reacción son de mayor tamaño. Por lo tanto, esta última mención será objeto de análisis en futuros trabajos.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Área Durabilidad del Hormigón, Ligan-tes Hidráulicos y Adiciones Minerales del LEMIT por su dedicación y esfuerzo en la realización de los ensayos.

La segunda autora agradece al Licenciado Norberto J. Uriz por la realización y diseño especial para el presente trabajo del mapa ubicación de la cantera Las Piedritas.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- ASTM C 856.
Standard practice for petrographic examination of hardened concrete.
2008 Annual Books of ASTM Standards. Concrete and Aggregates. Section Four Construction. Vol. 04.02: 438-454.
- ASTM C 295.
Standard guide for petrographic examination of aggregates for concrete.
2008 Annual Books of ASTM Standards. Concrete and Aggregates. Section Four Construction. Vol. 04.02: 199-206.
- ASTM C 1260.
Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-Bar Method).
2008 Annual Books of ASTM Standards. Concrete and Aggregates. Section Four Construction. Vol. 04.02: 677-681.
- ASTM C 1293.
Standard test method for determination of length change of concrete due to alkali-silica reaction.
2008 Annual Books of ASTM Standards. Concrete and Aggregates. Section Four Construction. Vol. 04.02: 682-688.
- BATIC O.R., SOTA J.D. Y IASI R., 1990.
Contribution of alkalis by aggregates to alkali-aggregates reaction in concrete.
En Erlin/stark (ed.), Petrography applied to concrete and concrete aggregates, ASTM STP 1061. American Society for Testing and Materials, pág. 159-168.
- BATIC, O.R., Y SOTA, J.D., 1991.
RAS. Influencia de las variables de exposición de las barras de mortero.
10ª Reunión técnica Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Tomo II: 89-93.
- BATIC, O.R., CORTELEZZI, C.R., PAVLICEVIC, R. Y TRAVERSA, L.P, 1995.
Caracterización tecnológica de las areniscas cementadas con calcedonia y ópalo del noroeste de la provincia del Chaco, República Argentina.
XII Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Memorias, pág. 191-197.
- BATIC, O.R. Y SOTA, J.D., 2001.
Reacciones deletéreas internas.
En E. Irassar (ed.), Durabilidad del Hormigón Estructural. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, pág. 157-216.
- BÉRUBÉ, M.A. Y FOURNIER, B., 1993.
Canadian experience whit testing for alkali-aggregate reactivity in concrete.
Cement and Concrete Composites. Vol. 15: 27-47.
- CHACE, F.M., 1956.
Abbreviations in field and mine geological mapping.
Economic Geology, Vol. 51: 712-723.
- CIRSOC 201, 2005.
Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón.
Capítulo II: 19-40
- COELHO DOS SANTOS, G.S. Y FALCONE, D.D. 2012.
Reacción álcali-agregado en areniscas cuarzosas de la Formación Las Piedritas (Chaco) y cuarcitas de la Formación Balcarce (Buenos Aires), utilizadas como agregados para hormigón.
Resúmenes. XII Reunión Argentina de Sedimentología, pág. 53-54.
- COLINA, J.F., WAINSTEIN, M. Y BATIC, O.R., 1967.
Durabilidad de hormigones de cemento portland. Separata de la Revista de Ingeniería N°57.
Revista Técnica del LEMIT. Serie II, N°115, 23 p.
- CORTELEZZI, C.R., MAIZA, P. Y PAVLICEVIC, R., 1990.
Strained quartz in relation to alkali-silica reaction. In Erlin/stark (ed.),
Petrography applied to concrete and concrete aggregates, ASTM STP 1061. American Society for Testing and Materials, pág. 145-158.
- CORTELEZZI, C.R., PAVLICEVIC, R. Y SOTA, J.D., 1991.
El cuarzo tensionado de un agregado natural frente a la RAS.
10ª Reunión técnica Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Tomo II: 80-88.
- FALCONE, D.D., BATIC, O.R. Y SOTA, J.D., 2006.
La humedad es necesaria para la RAS. En J.D. Sota (ed.),
16ª Reunión Técnica Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, pág. 241-248.
- FAVA, A.S.C., MANUELE, R.J., COLINA J.F. Y CORTELEZZI, C.R., 1961.
Estudios y experiencias realizadas en el LEMIT sobre la reacción que se produce entre el cemento y los agregados en el hormigón de cemento Portland.
Revista Técnica del LEMIT. Serie II N° 85, 40 p.

- GRATTAN-BELLEW, P.E., 1989.
Test Methods and Criteria for Evaluating the Potential Reactivity of Aggregates.
8th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, session 3, 279-194, Kyoto.
- HANSEN, W.C., 1944.
Studies relating to the mechanism by which the AAR proceeds in concrete.
Journal of American Concrete Institute. Vol. 15, No 3: 213-227.
- IRAM 1637, 1992.
Reacción Álcali-Agregado.
Método de la barra de mortero para la determinación de la reactividad alcalina potencial, 18 p.
- IRAM 1674, 1997.
Agregados.
Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero, 14 p.
- IRAM 1700, 1997.
Agregados.
Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón debido a la reacción álcali-agregado, 16 p.
- KODAMA, K. Y NISHINO, T., 1987.
Observation around of cracked region due to alkali-aggregate reaction by analytical electron Microscope.
7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, session XI, 398-402, New Jersey, USA.
- MARFIL, S., BATIC, O.R. Y MAIZA, P., 2012.
Petrography of potentially alkali reactive sandstone from Argentina.
14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions (ICAAR), Texas (USA).
Publicado en CD, versión en formato PDF, 021311-MARF, 8 pag.
- PERI, V.G. Y ROSSELLO, E.A. 2010.
Anomalías morfoestructurales del drenaje del Río Salado sobre las Lomadas de Otumpa (Santiago del Estero y Chaco) detectadas por procesamiento digital.
Revista de la Asociación Geológica Argentina, 66 (4): 634 - 645.
- SIMS, I. Y NIXON, P., 2003.
RILEM Recommended Test Method AAR-1.
Detection of potential alkali-reactivity of aggregates - petrographic method. Materials and Structures. Vol. 36: 480-496.
- WHITNEY, D.L. Y EVANS, B.W., 2010.
Abbreviations for names of rock-forming minerals.
American Mineralogist, Vol. 95: 185-187.
- ZHANG, C., WANG, A., TANG, M., WU, B. Y ZHANG, N., 1999.
Influence of aggregate size and aggregate size grading on ASR expansion.
Cement and Concrete Research, 29: 1393-1396.