

INFLUENCIA DE LOS PROCESOS GENÉTICOS EN LA REACTIVIDAD POTENCIAL DE ROCAS CUARCÍTICAS. EVALUACIÓN MEDIANTE ENSAYOS ACELERADOS

Coelho dos Santos Gabriela ^{1,2}, Locati Francisco ³, Marfil Silvina ^{2,4}, Maiza Pedro ⁴
1 LEMIT de la Prov. de Bs. As., calle 52 e/ 121 y 122, La Plata, gabys_geo17@yahoo.com.ar
2 CIC de la Prov. de Bs. As., smarfil@uns.edu.ar
3 CICTERRA – CONICET – UNC, Av. VélezSarsfield 1611, Córdoba, flocati@unc.edu.ar
4 Dpto. de Geol. UNS, San Juan 670, Bahía Blanca

Palabras claves: cuarcitas, procesos genéticos, reacción álcali-sílice (RAS), petrografía.

RESUMEN

El comportamiento de las rocas cuarcíticas frente a la reacción álcali-sílice (RAS) es variable. Los procesos involucrados en la formación de estas rocas son complejos y pueden provocar comportamientos diferenciales aún en materiales de una misma cantera. Las rocas estudiadas pertenecen a la “cuarcita Mar del Plata”, compuestas fundamentalmente por cuarzo tamaño arena. También es común la presencia de material fino arcilloso y en algunas muestras, se identificaron calcedonia y sílice microcristalina, estos últimos considerados como materiales potencialmente reactivos. Se realizaron estudios petrográficos, de microscopía electrónica de barrido y ensayos acelerados de la barra de mortero y prisma de hormigón sobre muestras de cuarcita de una cantera de la localidad de Batán. El objetivo del estudio es la evaluar la posible influencia de los procesos genéticos que afectan a las rocas, sobre la reactividad potencial de las mismas. En la mayoría de los ensayos los valores de expansión son menores a los límites máximos establecidos por las normas utilizadas, y sólo una de las muestras superó dichos valores. La relación de estos resultados con la petrografía del agregado, es coherente con la presencia de minerales de sílice pobremente cristalinos (ópalo-CT y calcedonia) los cuales son producto de procesos genéticos específicos.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento de las rocas cuarcíticas frente a la reacción álcali-sílice (RAS) ha sido estudiado en trabajos previos (1, 2), considerando a su vez la evolución durante la vida en servicio de las obras (3). En la mayoría de los casos, han sido calificadas como rocas de reacción lenta y eventualmente inocuas (4), generando cierta incertidumbre en cuanto a su estabilidad (5). Las cuarcitas son rocas sedimentarias clásticas, compuestas mayoritariamente por cuarzo, con matriz predominante del mismo mineral, cementado por sílice cristalizada en alguna de sus estructuras (cuarzo, calcedonia, etc.) o en estado amorfo (ópalo).

Durante su génesis, los fluidos en contacto con la roca (en poros y fisuras), poseen baja concentración de sílice disuelta. Sin embargo, si la matriz es de grano muy fino, el fluido permanece largo tiempo en contacto con los minerales pudiendo incrementar su concentración en sílice y precipitar como material cementante de los granos, si las

condiciones de lixiviación son favorables. Los granos de cuarzo pueden provenir de rocas graníticas, metamórficas e incluso de otras rocas sedimentarias por lo que es posible hallar clastos que hayan sufrido una deformación previa (cuarzo tensionado) y/o una reducción del tamaño de grano. El material cementante, puede ser carbonático, ferruginoso o silíceo (6). Este último se presenta en forma de ópalo, cristobalita fibrosa (lusatita), ópalo-calcedonia o cuarzo microcristalino (7). En las cuarcitas también puede haber crecimiento de cuarzo secundario en bordes de grano preexistentes, actuando también como unión entre los clastos. El principal proceso que opera durante la transformación de un sedimento en una roca sedimentaria se denomina diagénesis e involucra una serie de cambios, principalmente físico-químicos, que son dinámicos en el tiempo y están sujetos a variaciones locales del contenido de agua (en poros), de la temperatura, presión y química del sistema. Es importante señalar que en depósitos antiguos los procesos diagenéticos se superponen, así como también la erosión y la meteorización, pudiendo borrar parcial o totalmente la textura original de la roca (8, 9).

Son numerosos los estudios sobre diagénesis de las rocas sedimentarias silíceas. Estos análisis se realizan principalmente mediante métodos ópticos, microscopía electrónica de barrido (MEB) y de transmisión (MET), así como difracción de rayos X, entre otros, pudiendo inferir las transformaciones que sufren los minerales de sílice, desde compuestos amorfos (ópalo) a sucesivas fases intermedias hasta llegar a cuarzo como fase estable final. Las variedades y sub-variedades de sílice que han sido distinguidas son: amorfas (ópalo-A), cuarzo criptocristalino como combinación de ópalo-cristobalita-tridimita (ópalo-CT), ópalo-cristobalita (ópalo-C), ambos poseen una morfología de esferas (lepiesferas), y cuarzo microcristalino (calcedonia, etc.). Se ha comprobado que durante la diagénesis de los depósitos sedimentarios se producen cambios en la cristalinidad de la sílice, y que esta transformación se debe a un aumento de la cristalinidad y un decrecimiento en la solubilidad de los polimorfos. A partir de soluciones acuosas de baja temperatura puede precipitar material amorfo (ópalo-A) que morfológicamente se presenta como esferas de unos pocos micrones de diámetro. Por pseudomorfismo, el ópalo-A puede pasar a ópalo-CT formado por finos cristales con distintas orientaciones y agrupados en esferas de 1 a 10 μm de diámetro (lepiesferas). Mineralógicamente han sido interpretadas como α -cristobalita y tridimita en una matriz de sílice amorfa. La lusatita es una variedad fibrosa de ópalo-CT similar a la calcedonia pero con menor birrefringencia (7).

Los materiales estudiados en el presente trabajo corresponden a rocas de la Formación Balcarce (10), denominada comercialmente como "cuarcita Mar del Plata", provenientes de la localidad de Batán, partido de General Pueyrredón, en la provincia de Buenos Aires. Afloran principalmente en el sector oriental y sur de Tandilia (Sierras Septentrionales), desde el área de San Manuel-Balcarce hasta la costa atlántica (Chapadmalal- Mar del Plata). Se trata de una sucesión sedimentaria silicoclástica, de disposición sub-horizontal y está compuesta fundamentalmente por arenitas y sabulitas cuarzosas con estratificación entrecruzada, planar, tangencial y sigmoidal de espesores variables que pueden alcanzar hasta 90 m aflorantes. También se desarrollan delgados niveles conglomerádicos, medianos a finos e intercalaciones de vaques y pelitas (arcillas). La edad del depósito según su contenido en trazas fósiles es ordovícica, pudiendo llegar al Silúrico (11). Estudios realizados por Zalba y otros autores (9) sobre las secuencias sedimentarias de Tandilia, entre ellas la Formación Balcarce, relacionan la mineralogía de los materiales hallados en los poros de estas rocas con procesos posteriores a su formación. Los principales minerales presentes en los poros son: variedades de sílice como tridimita, ópalo-CT, calcedonia y cuarzo microcristalino, además de carbonatos y arcillas; también pirita, hematita, goethita, alunita y minerales de tierras raras, contemplando que cada tipo mineralógico fue formado en diferentes regímenes diagenéticos y algunos se superponen a otros. También se relaciona la presencia de algunos de estos minerales con la precipitación de fluidos meteóricos en

poros y discontinuidades de la roca, y en otros casos a procesos de compactación y diagénesis en diferentes estadios. La distribución de las secuencias sedimentarias de Tandilia se observan en la Figura 1 (10).

Desde el punto de vista de la RAS, los agregados cuarcíticos se califican como de reacción lenta cuando contienen cuarzo tensionado y/o microcristalino. Sin embargo aquellos que poseen como material cementante ópalo, calcedonia o sílice criptocristalina, pueden desarrollar reacción rápida (12). Los procesos de sedimentación y diagénesis involucrados en la formación de estas rocas pueden ser complejos (7) y provocar comportamientos diferenciales aún en materiales de una misma cantera (1).

La variabilidad litológica de los frentes de explotación cuarcíticos fue mencionada por Añón Suárez et al. (13) en base a respuestas físico-mecánicas de estas rocas. Los autores señalaron que el grado de alteración sólo es importante en las cubiertas o capas superiores, mientras que en profundidad deja de tener importancia. El grado de lateración afecta los valores de resistencia, absorción y densidad. Respecto de la RAS, los ensayos realizados sobre muestras provenientes de distintas canteras, han dado expansiones inferiores a los límites establecidos por las normas IRAM 1674 (14) e IRAM 1700 (15), que por lo general se correlacionan con un porcentaje de minerales reactivos inferiores a los indicados en la norma IRAM 1531 (16) (4), con la excepción de muestras provenientes de un frente actualmente inactivo, que han superado los límites normativos (1,2).

Con el objetivo de comprender e interpretar las variaciones encontradas en los resultados obtenidos en trabajos previos y la relación entre la reactividad potencial de las rocas y la influencia de los procesos genéticos (especialmente con la mineralogía del material minoritario presente en los poros de las cuarcitas), se estudiaron muestras de los frentes de explotación actual, del frente inactivo que había presentado potencial reactividad y del material pétreo acopiado en la planta de procesamiento. Sobre ellas se realizaron estudios con microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS), evaluando los contenidos de componentes potencialmente reactivos bajo la norma IRAM 1531 y ensayos físicos: método acelerado de la barra de mortero IRAM 1674 y prisma de hormigón a 60°, IRAM 1700.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados son rocas cuarcíticas que provienen de una cantera de la localidad de Batán, en las cercanías de la ciudad de Mar del Plata, partido de General Pueyrredón, provincia de Buenos Aires (Figura 1). La elección de esta cantera se debe a al comportamiento diferencial, respecto de su reactividad, de los materiales de un frente inactivo evaluado en un trabajo previo. La cantera presenta frentes expuestos de color blanco-amarillento, rosado y rojizo, con diaclasas (fracturas) espaciadas, subverticales (Figura 2a). Se puntualizó el estudio en un frente en el sector inferior de la cantera, ya que en estudios anteriores fue el único que mostró expansiones superiores a las establecidas en las normas IRAM vigentes. Los tonos de este nivel varían desde amarillentos, pardos, grisáceos, rosados y rojizos, hasta negros en sectores localizados (Figura 2b y c). Los estratos que componen este banco son frágiles y se observan más fracturados (Figura 2c.i). Este frente se encuentra inactivo y alejado de la posición de explotación actual (zona norte de la cantera).

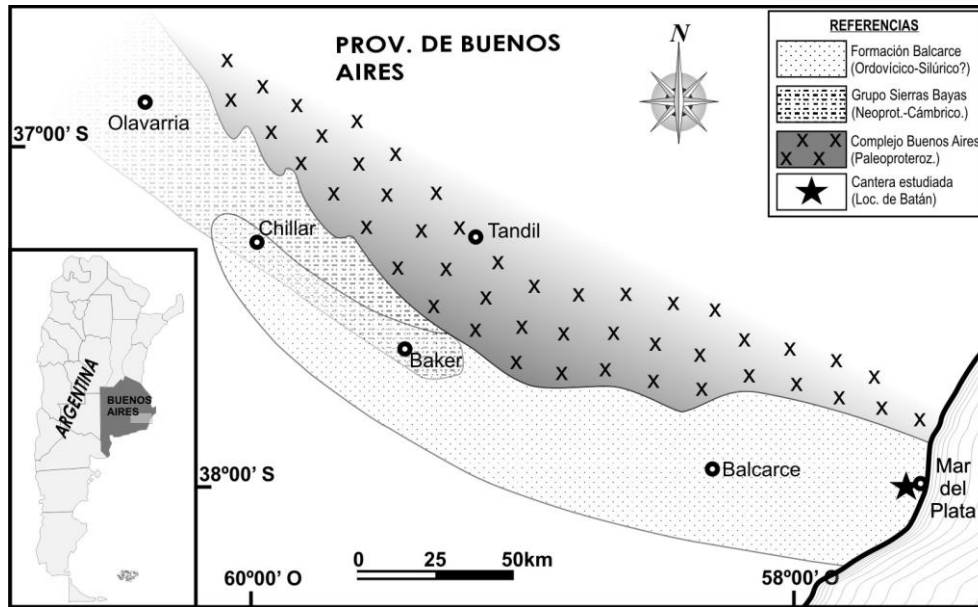


Figura 1: Cubierta sedimentaria y complejo ígneo-metamórfico de Tandilia. Ubicación de la cantera en la proximidad de Mar del Plata (Batán). Modificado de Dalla Salda e Iñiguez, 1979 (10).

Las ortocuarcitas se desarrollan en estratos de espesor superior a 1 m, aunque también se hallan vaques cuarzo-micáceos, arcillitas de hasta 50 cm y algunos niveles conglomerádicos de espesores < a 10 cm. El muestreo se realizó sobre un frente inactivo de la cantera y en acopio de la planta de procesamiento correspondiente al agregado que se comercializa. Con estas muestras se realizaron estudios petrográficos y ensayos físicos normalizados.

El método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) consistió en el moldeo de probetas de mortero de 25x25x280mm, que luego de ser curadas en agua durante 24 hs a 80°C, se sumergen en una solución 1N de OHNa a 80 °C durante 1 mes, realizando lecturas periódicas, hasta los 28 días. Para este ensayo la reactividad potencial de los agregados se evalúa a los 16 días. Los prismas de hormigón (IRAM 1700 a 60°) se confeccionaron con agregado grueso cuarcítico en fracciones, una arena patrón no reactiva, 420 Kg/m³ de cemento portland normal (con álcalis de 0,9 ± 0,1% expresado en Na₂O_{eq}) y una razón a/c de 0,42 a 0,45. Se agregó una proporción de OHNa en el agua de mezclado para que el contenido total de álcali equivalente en el hormigón sea de 5,25 Kg. En el ensayo acelerado del prisma de hormigón, las probetas se introducen en recipientes individuales y se estacionan en estufas a 60°C durante 40 semanas, midiendo la expansión de manera periódica. La reactividad potencial de los agregados se evalúa a las 13 semanas. Para este último ensayo, la norma IRAM 1531 (16) considera que un agregado es potencialmente reactivo cuando supera a este tiempo el valor de expansión de 0,040% para agregados de reacción rápida y de 0,080% para los de reacción lenta. La petrografía se realizó con estereomicroscopio Olympus SZ-61, microscopio petrográfico Olympus BH2-UMA y microscopio electrónico de barrido Philips 505 acoplado a un espectrómetro de energía dispersiva de rayos X (MEB-EDS). Para el último estudio las muestras fueron metalizadas con Au.

RESULTADOS

Petrografía

Las ortocuarcitas están compuestas por un 95%± 5% de cuarzo, muscovita, turmalina y óxidos de hierro en bajos porcentajes, además de accesorios como circón,

apatita, rutilo (< 1%). Las arcillas (1-10%) se encuentran entre los granos de cuarzo y están representadas principalmente por caolinita e illita, esta última en menor proporción. El cuarzo por lo general presenta extinción normal a levemente ondulante (ángulos bajos), aunque en las granulometrías mayores, por ejemplo en los conglomerados, los clastos mayores a 2 mm pueden observarse altamente tensionados, aunque de forma muy localizada dentro de niveles muy finos (< 5 cm). El porcentaje de cuarzo tensionado es inferior al 5%. Una característica particular de estas rocas es la variabilidad en la textura y tamaño de grano; las cuarcitas pasan de sabulitas, arenitas sabulíticas (clastos > 2 mm) a arenitas de grano grueso, medio o fino, con o sin arcilla entre los intersticios: Algunas presentan estructura muy compacta, cerrada, con bordes difusos, aserrados, hasta netos y con crecimiento secundario. En ocasiones se observa cemento entre los granos de la roca, pudiendo ser silíceo, micáceo y ferruginoso. Los vaques son de granulometría fina, con clastos de cuarzo anguloso y aproximadamente un 5% de minerales micáceos.

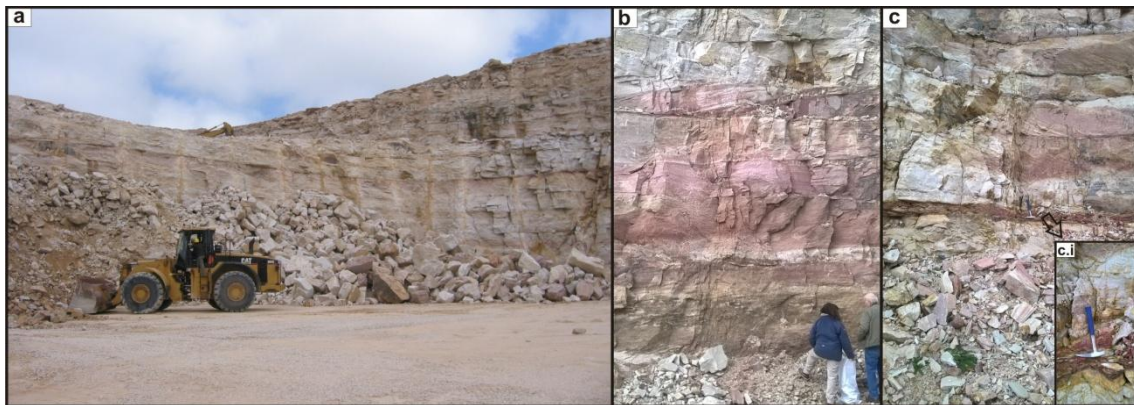


Figura 2: (a) Frentes de explotación actual; (b y c) frente inactivo; (c.i) detalle.

En la Figura 3a se observa la textura y mineralogía típica de la cuarcita, con granos de cuarzo de tamaño arena gruesa, mayores a 1 mm, rodeados por una “matriz” de cuarzo tamaño arena media a fina. En sectores, la roca posee menor granulometría y está compuesta por clastos angulosos de cuarzo (< 200µm) y muscovita (Figura 3b), rodeados por una matriz de tamaño muy fino (< 10 µm). Las muestras tomadas en el frente inactivo difieren del resto de las rocas de otros frentes; poseen una mayor porosidad y los intersticios están rellenos por arcillas y materiales silíceos atribuidos a calcedonia por presentar un hábito fibroso (Figura 3c y d). Los porcentajes de estos minerales no pueden ser determinados por este medio de estudio debido a la finura y al grado de mezcla que presentan los mismos. De forma minoritaria, puede observarse turmalina, calcita (reconocida en una sola muestra del frente inactivo) y otros minerales accesorios.

Microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS)

Con MEB-EDS se analizó el material intersticial de las cuarcitas, las cuales fueron seleccionadas previamente bajo estereomicroscopio. En los poros se identificó principalmente caolinita y óxidos de hierro. En las muestras del frente inactivo además de estas fases también se reconoce sílice criptocristalina. En Figura 3e se muestran lepiesferas de ópalo-CT en el interior de un intersticio de la roca, como se observa también en las imágenes de microscopio de la Figura 3c y d. Las esferas se hallan intercaladas con láminas de illita y su morfología podría corresponder a las estructuras fibro-radiadas observadas en el microscopio petrográfico e identificadas como ópalo-calcedonia. El espectro de la Figura 3f muestra la composición química del sector marcado en la Figura 3e y corresponde a un pico elevado de sílice, probablemente de las esferas, y aluminio y potasio adjudicados a illita. Además se identificó calcita, óxidos de

hierro y otros minerales accesorios en muy bajas proporciones no siendo de importancia para este estudio.

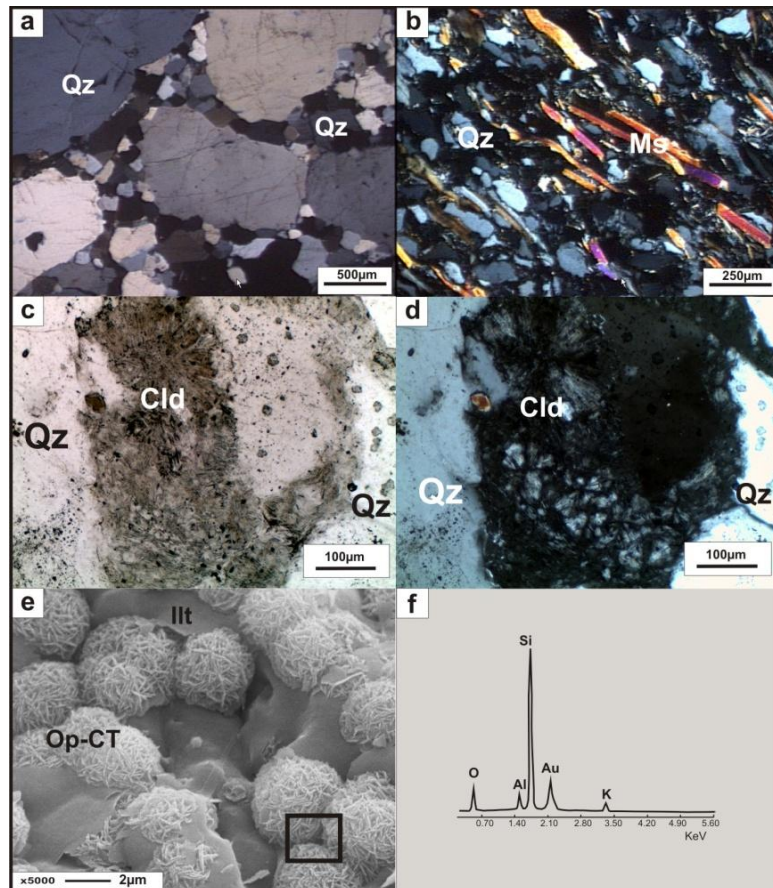


Figura 3:(a-d) Fotomicrografías con microscopio petrográfico (a, b, d: nicoles cruzados, c: nicoles paralelos). (e) MEB del material relleno de poros. (f) Espectro del recuadro en (e). **Qz:** cuarzo, **Ms:** muscovita, **Cld:** calcedonia, **Op-CT:** ópalo-CT, **Illt:** Illita.

Ensayos físicos

Los ensayos acelerados para las distintas muestras arrojan resultados variables. Los materiales tomados de acopio (M-A1 y M-A2) dieron expansiones menores a los límites máximos establecidos por las normas IRAM 1674 y 1700 a 60°. Sin embargo, la muestra M-F perteneciente a un frente inactivo alcanzó un valor de 0,095% a 16 días en la barra de mortero (Figura 5a) y superó el límite de 0,080% a las 13 semanas en el prisma de hormigón a 60° (Figura 5b).

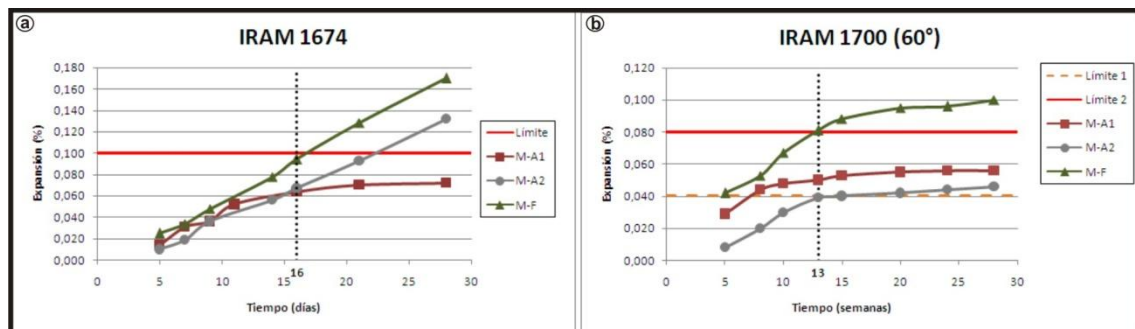


Figura 4:(a) IRAM 1674. Límite 0,100% a 16 días. (b) IRAM 1700(60°C). Límite 1(0,04%) 13 semanas agregados de reacción rápida, límite 2 (0,08%) agregados de reacción lenta (16).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los frentes de explotación de las canteras de cuarcita de una misma área, presentan variaciones texturales y mineralógicas en mayor o menor medida. La utilización de estos materiales, de ubicación casi indefinida dentro de la cantera, impactó en los valores de expansión de los ensayos físicos.

En el ensayo acelerado de la barra de mortero, se observa que la curva de la muestra de acopio M-A1 se mantiene siempre por debajo del límite 0,100% y por debajo de 0,080% en el prisma de hormigón. Por otro lado, en el ensayo de la barra de mortero, la muestra de un segundo acopio (M-A2), no supera el límite de 0,100% a los 16 días pero si lo hace a los 28 días y se mantiene por debajo de 0,080%, valor límite a las 13 semanas para el prisma de hormigón. Sólo la muestra del frente inactivo, M-F, excede los límites para los tiempos de ensayo establecidos en ambas normas (IRAM 1674 y 1700).

Los estudios petrográficos muestran que los agregados estudiados son composicionalmente homogéneos, pero las muestras tomadas del frente inactivo presentan una alteración de la textura original y de la composición mineral de los poros. Esto se atribuye a que en determinadas zonas (puntuales) los estratos de cuarcita han sido afectados por procesos genéticos posteriores a la formación de la roca como es la alteración y los procesos hidrotermales de nivel regional. La afección de estos procesos estaría asociada a sectores donde la mayor fisuración o porosidad de la roca permitió la circulación de fluidos afectando en mayor o menor grado la condición original del material.

La diferencia de comportamiento observada entre las muestras provenientes de la planta de procesamiento (de frentes activos) y las del frente inactivo, se debe a la presencia de materiales potencialmente reactivos como ópalo-CT y cuarzo microcristalino (calcedonia) localizados en determinados niveles de los frentes que actualmente no se encuentran en producción debido a los problemas de reactividad presentados. Leves variaciones porcentuales de clastos de cuarzo tensionado, sílice criptocristalina y microcristalina presente en poros, pudo haber contribuido a obtener un porcentaje óptimo para aumentar la reactividad del agregado. Esto se correlacionaría con los resultados de los ensayos físicos y con la norma IRAM 1531, que toma como material potencialmente reactivo a aquellos agregados que contienen cuarzo tensionado > a 5%, ópalo, sílice cripto y microcristalina > a 1%, o que contengan más de un tipo de material reactivo.

CONCLUSIONES

- Se observa una correlación entre los resultados obtenidos en los ensayos acelerados según las normas IRAM 1674 e IRAM 1700 a 60°. Los ensayos físicos califican a la muestra del frente inactivo como potencialmente reactiva frente a la RAS y al material que se comercializa como inocuo.
- La reactividad de la muestra M-F, se atribuye a la presencia de sílice pobremente cristalizada (ópalo CT) y microcristalina (calcedonia), especialmente en el material presente en los intersticios de la cuarcita, pudiendo aumentar aún más la reactividad la presencia de granos de cuarzo tensionado, tal lo contemplado en la norma IRAM 1531.
- Las variaciones texturales y composicionales en los frentes de cantera están ligadas a procesos genéticos diferenciales en forma y tiempo dentro de una misma unidad rocosa, y por lo tanto son los responsables del comportamiento diferencial observado. Estas variaciones deben ser identificadas previamente mediante el control geológico antes del proceso de explotación para tomar recaudos que permitan conocer las características tecnológicas del material.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión de Inv. Científicas de la Prov. de Bs. As., al Ing. L. Traversa director del LEMIT, al Ing. D. Falcone y personal técnico del Área de Durabilidad del LEMIT También al Dpto. de Geol.de la UNS y al CICTERRA (CONICET-UNC) por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

- (1) Coelho dos Santos, G., Falcone, D., Marfil, S. y Maiza, P. "Estudio de la reactividad alcalina potencial de rocas cuarcíticas de la Formación Balcarce". Relación ente los resultados de los ensayos físicos y los estudios petrográficos. XIX Congr. Geol. Argentino, (2014), S11-05 2 p.
- (2) Coelho dos Santos G., Falcone D., Marfil, S. "Importancia del análisis textural de las rocas en la evaluación de su comportamiento frente a la RAS y su relación con el método acelerado de la barra de mortero y el prisma de hormigón". VI Congreso Internacional, 20^a Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Ing. Alberto S.C. Fava. Concordia, Entre Ríos, Argentina, (2014), 223-229.
- (3) Coelho dos Santos, G., Marfil, S., Maiza, P. "Petrographic evaluation of a 50-year-old concrete pavement made with quartzitic aggregate", International Conference on Sustainable Structural Concrete, La Plata, Argentina (2015), 340-348.
- (4) Coelho dos Santos, G.S, Marfil S.A., Maiza P.J. "Influencia de las características texturales y mineralógicas de la cuarcita Mar del Plata en su comportamiento como agregado en hormigón". 2º Cong. Argentino de Áridos, San Isidro, Bs. As, Argentina, (2014), 367-378.
- (5) Coelho dos Santos, G., Falcone, D. "Reacción álcali-agregado en areniscas cuarcosas de la Formación Las Piedritas (Chaco) y cuarcitas de la Formación Balcarce (Buenos Aires), utilizadas como agregados para hormigón".XII Reunión Argentina de Sedimentología, Salta, Argentina (2012), 53-54.
- (6) Pettijohn F. "Sedimentary rock", 2nd edition, Harper & Brothers Inc., New York, (1957), 718 p.
- (7) Lee D. "Characterisation and the diagenetic transformation of non-microcrystalline silica minerals", unpublished Master's thesis, University of Liverpool, UK, (2006), 20p.
- (8) Larsen G., Chilingar G. "Diagenesis in sediments. Developments in Sedimentology 8", 1er Edición, Elsevier (1967), 551 p.
- (9) Zalba, P., Morosi, M., Manassero, M., Conconi, M., "Microscale diagnostic diagenetic in Neoproterozoic and Ordovician Units, Tandilia Basian, Argentina: A Review.", Journal of Applied Sciences, 10 (22), (2010), 2754-2772.
- (10) Dalla Salda L., Iñíguez Rodríguez A., "La Tinta, Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires". 7º Congreso Geológico Argentino, Neuquén,Acta I, (1979). 539-550.
- (11) Zimmermann, U., Spalletti, L., "Provenance of the Lower Paleozoic Balcarce Formation - Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina- Implications for paleogeographic reconstructions of SW Gondwana", Sedimentary Geology, (2009), 219, 7-23.
- (12) Batic O. y Sota J. "Reacciones deletéreas internas. Durabilidad del Hormigón Estructural", Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, (2001), Cap. IV, 157-216.
- (13) Añón Suárez, H., Mauriño, V., Massaccesi, D., "Cualidades físico-mecánicas de las ortocuarzitas de la Provincia de Buenos Aires. Su empleo en obras viales y civiles", Revista del LEMIT, Vol. 4, serie II, nº 198, (1971), 77-114.
- (14) IRAM 1674. "Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero", IRAM, (1997), 14 p.
- (15) IRAM 1700. "Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado", IRAM, (2013), 16 p.
- (16) RAM 1531. "Agregado grueso para hormigón de cemento", IRAM, (2016), 33 p.