

EVALUACIÓN DE LA POTENCIAL REACTIVIDAD DE AGREGADOS PÉTREOS DE LAS SIERRAS SEPTENTRIONALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Pérez Marfil Paula¹, Falcone Darío², Locati Francisco³, Marfil Silvina^{1,4},
Madsen Lenis^{1,4}, Maiza Pedro^{1,4}

¹CGAMA-CIC-UNS. paulaperezmarfil@gmail.com, ²CIC de la Prov. de Buenos Aires - LEMIT. Av. 52 e/121 y 122, La Plata. durabilidad@lemit.gov.ar, ³CICTERRA (CONICET-UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba. locatifrancisco@gmail.com, ⁴Dpto. de Geología. UNS. San Juan 670. Bahía Blanca. smarfil@uns.edu.ar

RESUMEN

Se evaluó la potencial reactividad de rocas ígneas y metamórficas de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. Se estudiaron siete canteras localizadas en proximidades a Olavarría, Azul y Balcarce. Se realizaron ensayos físicos (IRAM 1674 y 1700), petrográficos (IRAM 1649) según requerimientos de la normativa IRAM 1531 y químicos (IRAM 1650). Las rocas analizadas pueden desencadenar la reacción álcali-sílice (RAS), debido a la presencia de cuarzo microcristalino, fuertemente tensionado y/o microfracturado. Se utilizó el método de conteo de puntos propuesto por RILEM para evaluar el contenido de cuarzo sobre secciones delgadas y se comparó con resultados previos obtenidos a partir de análisis modales. Ambos métodos arrojaron resultados similares. De los agregados estudiados, solo uno fue calificado como potencialmente reactivo en los ensayos petrográficos y el método acelerado de la barra de mortero (más de 5% de cuarzo microcristalino y 0,156% de expansión, respectivamente) aunque todos califican como no reactivos según el método químico y prisma de hormigón acelerado.

Palabras claves: RAS, agregados, Sierras Septentrionales.

INTRODUCCIÓN

Para evaluar la potencial reactividad de un agregado frente a la RAS, resulta necesario conocer su composición mineralógica ya que ciertos constituyentes silíceos, sometidos a un medio de elevada alcalinidad (como la solución de poro del hormigón), pueden reaccionar con los álcalis de la solución (Na_2O y K_2O) para formar silicatos alcalinos hidratados que aumentan de volumen por absorción de agua y generan presiones internas en el hormigón. Esta reacción se puede generar de forma rápida, si el agregado pétreo contiene alguna variedad de sílice pobremente cristalizada (tridimita, cristobalita, ópalo o calcedonia) o vidrio volcánico, o lenta si el agregado contiene cuarzo microcristalino, fuertemente tensionado y/o microfracturado [1]. La norma IRAM 1531 [2] establece un límite máximo de 5% para estos últimos, sin embargo no se describen métodos específicos para determinar ese porcentaje. Además de los constituyentes mencionados, para que la reacción se desarrolle, deben combinarse otros dos factores: humedad relativa superior al 80% y álcali disponible.

También es importante comprender los procesos deformacionales que afectaron a las rocas, ya que los mismos están íntimamente relacionados con el contenido de cuarzo fuertemente tensionado en los agregados [3,4].

Las rocas del basamento de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires son muy utilizadas en la industria de la construcción como agregado pétreo. Son de origen ígneo-metamórfico, y todo el conjunto fue denominado por Marchese y Di Paola [5] como Complejo Buenos Aires. Presentan variable grado de deformación, y pueden contener cuarzo microcristalino (producto de procesos de recristalización) y cuarzo fuertemente tensionado.

Para evaluar la potencial reactividad de un agregado, en una primera instancia se recomienda realizar un análisis petrográfico según la norma IRAM 1649 [6], teniendo en cuenta además las especificaciones de la norma IRAM 1531 [2] (agregado grueso para hormigón de cemento), en la cual se detallan los porcentajes máximos permitidos de los materiales potencialmente reactivos. Si de estos análisis el agregado es calificado como no reactivo, podrá ser utilizado sin restricciones frente a la RAS, de lo contrario, la potencial reactividad deberá ser comprobada por algún otro ensayo como el método acelerado de la barra de mortero [7], el prisma de hormigón acelerado [8] o el método tradicional del prisma de hormigón [8].

El objetivo del presente trabajo es avanzar en la evaluación del potencial comportamiento reactivo de rocas que componen el basamento cristalino de las Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires, para su utilización como agregado para hormigón. Para ello se realizaron ensayos físicos [7,8], petrográficos [2,6] y químicos [9]. Para cuantificar el porcentaje de cuarzo microcristalino se aplicó el método de conteo de puntos establecido por RILEM AAR-1 [10] y se compararon los resultados con el análisis modal realizado en un trabajo previo, sobre las mismas muestras [11].

MATERIALES Y MÉTODOS

Se relevaron 7 canteras localizadas en la zona de Olavarría, Azul y Balcarce (Figura 1) y se tomaron muestras del triturado 6-20mm de las pilas de acopio. Se realizaron estudios petrográficos [6], físicos según las especificaciones de las normas IRAM 1674 [7] e IRAM 1700 a 60°C [8], y químicos [9], para evaluar su potencial reactividad frente a la RAS.

La norma IRAM 1531 [2] establece un límite máximo de 5% para el contenido de cuarzo microfracturado y/o fuertemente tensionado + cuarzo microcristalino, sin embargo no describe métodos específicos para determinar esos porcentajes. En el presente trabajo, se aplicó el método de conteo de puntos establecido por RILEM AAR-1 [10]. Para ello se utilizó un Charriot adosado a un microscopio petrográfico Olympus trinocular BH-2, con un paso de un 1mm. Se contaron las partículas menores a 62µm (cuarzo microcristalino) y, en las mayores a 62µm se le midió el ángulo de extinción ondulante (AEO) [12]. Se consideró cuarzo fuertemente tensionado aquel que presenta un ángulo mayor a 15° según lo sugerido por Ramos y colaboradores [13].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Petrografía: En la Tabla 1 se indican los tipos de roca para cada una de las canteras estudiadas. El detalle de la descripción macro y microscópica fue realizado en un trabajo previo en el que se aplicó un análisis modal para la cuantificación del cuarzo.

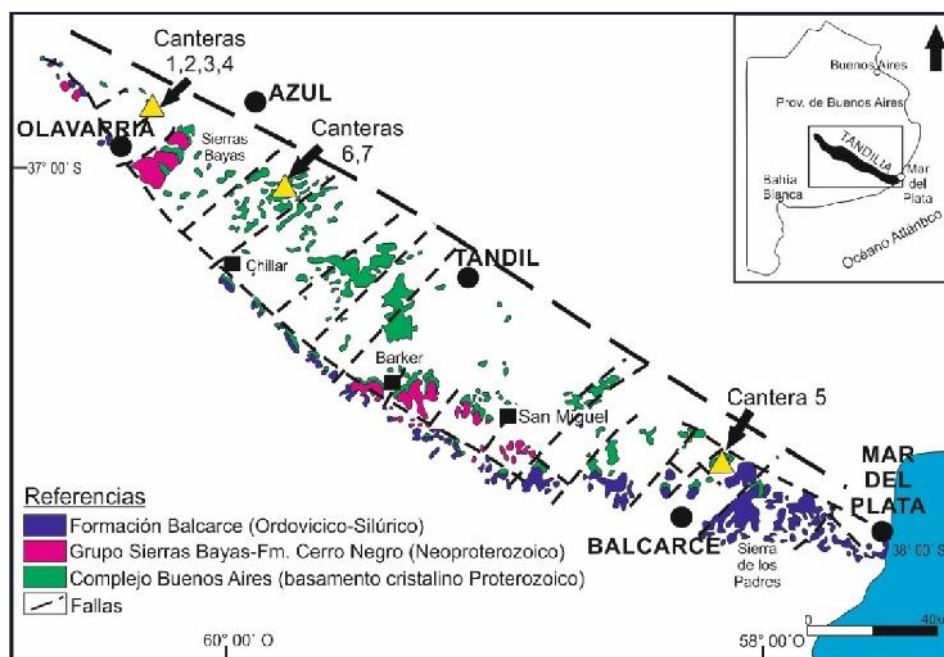


Figura 1: Ubicación de las canteras estudiadas (modificado de Cingolani [14]).

Tabla 1: Valores de AEO promedio y % de cuarzo microcristalino determinados mediante conteo de puntos [10] y análisis modal [11].

Cantera	Tipos de roca	Conteo de puntos [10]		Análisis modal [11]	
		AEO Promedio (°)	Cuarzo microcristalino <62 µm (%)	AEO promedio (°)	Cuarzo microcristalino <62 µm (%)
1	Migmatitas	12,9	2	12	1,6
2	Granitoides	12,7	<0,1	14	<0,1
3	Migmatitas	12,1	3	15	1,9
4	Migmatitas	11,6	3,5	12	2,7
5	Migmatitas	8,9	3,3	11	3,6
6	Milonitas	4,9	20,2	5	21,2
7	Migmatitas	6,8	0,8	8	0,5

La mayoría corresponde a migmatitas (canteras 1, 3, 4, 5 y 7) constituidas por dos o tres litotipos diferenciados por el contenido en feldespato potásico, plagioclasa y minerales máficos [11]. Sin embargo, la muestra de la cantera 2 está compuesta por granitoides levemente deformados (Figura 2a) y la de la cantera 6 por milonitas (Figura 2b). Se puso especial énfasis en la determinación de los componentes potencialmente reactivos (cuarzo < 62µm + cuarzo fuertemente tensionado y/o microfracturado).

De los resultados de la Tabla 1 se puede observar que el AEO promedio es bajo (< 13°) por lo que ninguna muestra presenta cuarzo fuertemente tensionado. El cuarzo microfracturado es muy escaso (<<1%) y el microcristalino es inferior al 5% en todas las muestras estudiadas con excepción de la cantera 6 (~20%). Estos resultados son comparables con el análisis modal realizado en un trabajo previo [11].

Ensayos físicos

Método acelerado de la barra de mortero [7]: Todos los agregados analizados muestran expansiones por debajo de 0,10% a los 16 días (Tabla 2 y Figura 3), excepto la muestra de la cantera 6 que presenta una expansión de 0,156%, calificándola como potencialmente reactiva.

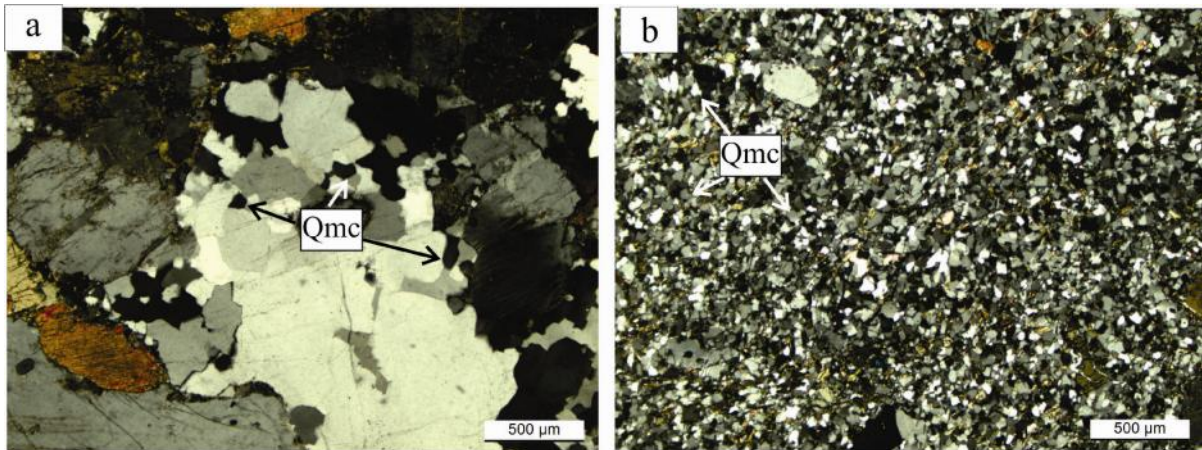


Figura 2. Fotomicrografías con niclos cruzados. a) Escaso contenido de cuarzo microcristalino en el agregado de la cantera 2. b) Abundante contenido de cuarzo microcristalino en el agregado de la cantera 6. Qmc: Cuarzo microcristalino.

Tabla 2: Resultados del método acelerado de la barra de mortero [7].

Cantera	Expansión (%) a la edad de (días)							
	5	7	9	12	14	16	21	28
1	0,012	0,020	0,020	0,020	0,019	0,024	0,026	0,026
2	0,010	0,013	0,017	0,016	0,023	0,033	0,045	0,056
3	0,018	0,031	0,043	0,050	0,054	0,059	0,066	0,079
4	0,007	0,024	0,031	0,038	0,058	0,062	0,078	0,095
5	0,003	0,015	0,015	0,018	0,021	0,023	0,025	0,031
6	0,043	0,079	0,099	0,113	0,142	0,156	0,182	0,211
7	0,007	0,024	0,029	0,037	0,051	0,058	0,072	0,090

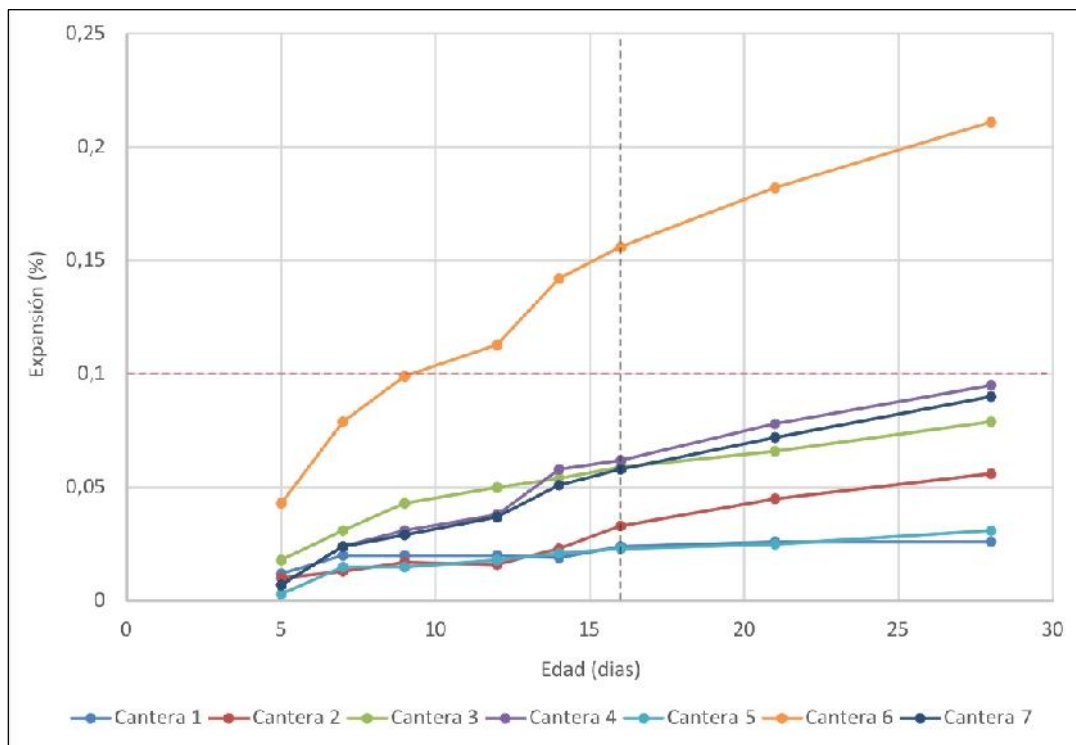
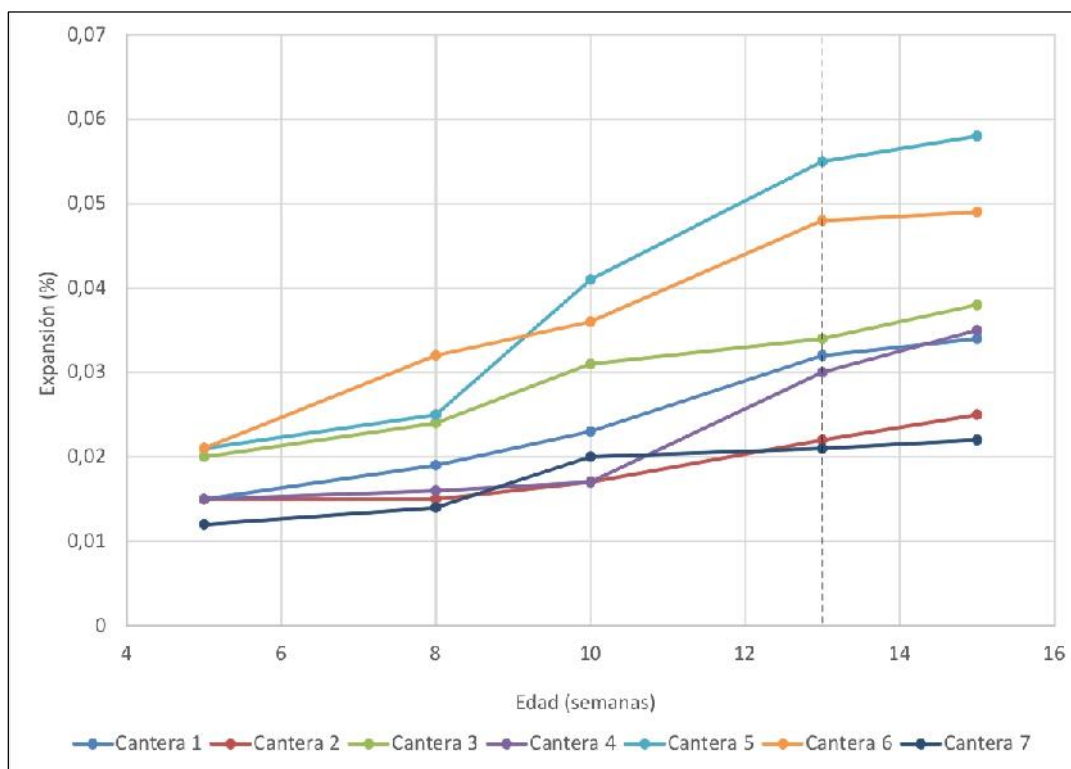


Figura 3: Curvas de expansión según IRAM 1674 [7].

Tabla 3: Resultados del método del prisma de hormigón acelerado [7].

Cantera	Expansión (%) a la edad de (semanas)				
	5	8	10	13	15
1	0,015	0,019	0,023	0,032	0,034
2	0,015	0,015	0,017	0,022	0,025
3	0,02	0,024	0,031	0,034	0,038
4	0,015	0,016	0,017	0,03	0,035
5	0,021	0,025	0,041	0,055	0,058
6	0,021	0,032	0,036	0,048	0,049
7	0,012	0,014	0,02	0,021	0,022

**Figura 4:** Curvas de expansión según IRAM 1531 [2].

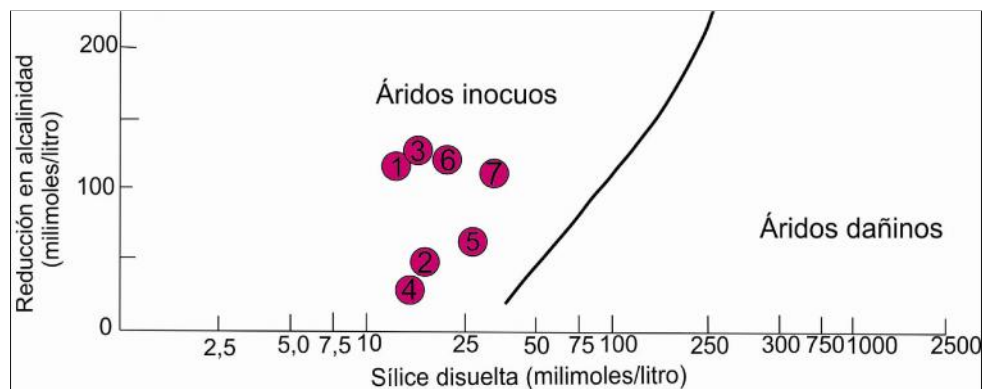
Ensayo del prisma de hormigón acelerado [8]: Para evaluar la potencial reactividad de agregados que contienen cuarzo tensionado y/o microcristalino, el límite que se debe aplicar a las 13 semanas es de 0,080%, de acuerdo a lo establecido en la normativa IRAM 1531. Todas las muestras estudiadas se califican como no reactivas según este ensayo (Tabla 3 y Figura 4). Si se comparan los resultados de la petrografía y el método acelerado de la barra de mortero, el comportamiento de los agregados de la cantera 6 podría considerarse como un falso positivo (reactivo según IRAM 1674 y no reactivo según IRAM 1700 a 60°C). Para confirmar estos resultados se está realizando el ensayo convencional del prisma de hormigón a 38°C que será evaluado cuando cumpla un año. Esto permitirá verificar si se trata de un agregado no reactivo o se está en presencia de un falso negativo, al evaluarlo con el ensayo del prisma acelerado.

Método de ensayo químico

El método de ensayo químico [9] se llevó a cabo para evaluar el aporte de sílice de las partículas potencialmente reactivas presentes en los agregados.

Tabla 4: Resultados del método de ensayo químico [9].

Cantera	Sílice disuelta		Reducción en alcalinidad
	mg	milimoles/litro	milimoles/litro
1	4,3	14	116,5
2	5,5	18,3	45,5
3	5,1	16,9	136,5
4	4,1	13,7	36,5
5	7,8	26	66,5
6	6,7	22,3	121,5
7	8,2	27,3	111,5

**Figura 5.** Proyección de los resultados del ensayo químico [9].

Si bien está prácticamente en desuso en Argentina y fue dado de baja por ASTM, el objetivo fue evaluar si se observaba alguna diferencia en el aporte de sílice del agregado de la cantera 6 (en relación al resto de los agregados), calificada como potencialmente reactiva por los ensayos petrográficos y el método acelerado de la barra de mortero.

En la Tabla 4 se muestran los resultados de sílice disuelta y reducción en alcalinidad para los diferentes agregados estudiados. En la Figura 5 se puede observar que todas las muestras caen en el campo de áridos inocuos, incluso la milonita de la cantera 6. Según Sarkar y colaboradores [15] el método falla en la identificación de agregados de reacción lenta. A su vez, estos autores mencionan que ciertos agregados pueden liberar una elevada cantidad de sílice aunque en servicio no evidencien reactividad. Si bien en el presente trabajo solo se cuenta con resultados de laboratorio, este comportamiento podría estar evidenciado en el mayor valor de sílice disuelta de las muestras 5 y 7.

CONCLUSIONES

Las migmatitas y los granitoides estudiados, fueron calificados como no reactivos por los ensayos físicos, químicos y petrográficos.

Las milonitas presentan cuarzo microcristalino en contenidos superiores al 5%. Estos resultados son coincidentes con la expansión medida en el método acelerado de la barra de mortero aunque no se observó correlación con el ensayo químico ni con el método acelerado del prisma de hormigón.

El comportamiento del agregado de la cantera 6 será verificado con el método tradicional del prisma de hormigón curado a 38 °C, para confirmar si se trata de un agregado inocuo o de un falso negativo en el prisma de hormigón acelerado.

Los resultados del método de conteo de puntos propuesto por RILEM, para evaluar el cuarzo microcristalino, fuertemente tensionado y/o microfracturado son comparables con el análisis modal efectuado previamente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNS, a la UNLP, al CICTERRA (CONICET-UNC), y al CGAMA-CIC por el apoyo brindado. A las empresas Loma Negra, Piatti, Guerrico, Yaraví, Dos Arroyos y Marengo por permitirnos el ingreso para realizar los trabajos de campo. Al personal de las canteras que nos recibió y acompañó, por su excelente disposición para la realización relevamiento y muestreo. Al Dr. Julio del Río por su valiosa colaboración. Este trabajo fue financiado por un subsidio de la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires.

REFERENCIAS

- [1] Marfil. S., Maiza. P. "Deteriorated pavements due to the alkali-silica reaction: A petrographic study of three cases in Argentina", *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, N° 7, (2001), 1017-1021.
- [2] IRAM 1531. "Agregado grueso para hormigón de cemento", Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), (2016), 33 pp.
- [3] Gogte, B.S. "An evaluation of some common Indian rocks with special reference to alkali-aggregate reactions", *Engineering Geology*, Vol. 7, N° 2, (1973), 135-153.
- [4] Wenk, H.R., Monteiro, P.J.M., Shomglin, K. "Relationship between aggregate microstructure and mortar expansion. A case study of deformed granitic rocks from the Santa Rosa mylonite zone", *Journal of Materials Science*, Vol. 43, N° 4, (2008), 1278–1285.
- [5] Marchese, H.G., Di Paola, E. "Reinterpretación estratigráfica de la Perforación de Punta Mogotes I, Provincia de Buenos Aires", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 30, N° 1, (1975), 44-52.
- [6] IRAM 1649. "Examen petrográfico de agregados para hormigón", Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), (2008), 13 pp.
- [7] IRAM 1674. "Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero", Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), (1997), 14 pp.
- [8] IRAM 1700. "Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado", Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), (2013), 16 pp.
- [9] IRAM 1650. "Reactividad alcalina en áridos. Método de ensayo químico", Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), (1968), 15 pp.
- [10] RILEM AAR-1. "Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – petrographic method", TC 191-ARP, alkali-reactivity and prevention – assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity, prepared by I. Sims and P. Nixon, *Materials and Structures*, Vol. 36, (2003), 480–496.
- [11] Pérez Marfil, P., Locati, F., Marfil, S., Lescano, L., Maiza, P. "Estudio petrográfico de rocas graníticas y migmatitas del Sistema de Tandilia utilizados como agregados para hormigón en la provincia de Buenos Aires". 3º Congreso Argentino de Áridos, (2017), 155-161.
- [12] West, G. "Undulatory extinction of quartz in some British granites in relation to age and potential reactivity", *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, Vol. 27, N° 1, (1994), 69–74.
- [13] Ramos, V., Fernández, I., Santos Silva, A., Soares, D., Fournier, B., Leal, S., Noronha, F. "Assessment of the potential reactivity of granitic rocks. Petrography and expansion tests", *Cement and Concrete Research*, Vol. 86, (2016), 63–77.

[14] Cingolani, C.A. "The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview", *International Journal of Earth Science*, Vol. 100, N° 2-3, (2010), 221-242.

[15] Sarkar, S.L., Dan, G.Z., Anal, K.M., Lim, S.W. "Handbook for identification of alkali-silica reactivity in airfield pavements", U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, AC N° 150/5380-8, Appendix 1, (2004), 79 pp.