

# COMPORTAMIENTO DE ROCAS METAMÓRFICAS CON VENAS DE PSEUDOTAQUILITAS DE LAS SIERRAS CHICAS DE CÓRDOBA, FRENTE A LA REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE.

Locati, F.<sup>1\*</sup>; Marfil, S.<sup>2†</sup>; Baldo, E.<sup>1‡</sup> y Batic, O.<sup>3§</sup>

1. Cát. de Geol. Gral. - FCEFYN - UNC - CICTERRA. Av. Vélez Sarsfield 1611 (X5016GCA) Córdoba. [locatifrancisco@tutopia.com](mailto:locatifrancisco@tutopia.com), [ebaldo@com.uncor.edu](mailto:ebaldo@com.uncor.edu). Te: 0351-4344980/4981 int. 113
2. Dpto. de Geología – UNS. San Juan 670. (8000) Bahía Blanca. [smarfil@uns.edu.ar](mailto:smarfil@uns.edu.ar)
3. LEMIT. Calle 52 y 121 (1900). La Plata. [orbatic@netverk.com.ar](mailto:orbatic@netverk.com.ar)

**Palabras Claves:** reacción álcali-sílice, pseudotaquilita, rocas metamórficas

## RESUMEN

En este trabajo se evalúa el comportamiento de rocas metamórficas con venas de pseudotaquilitas de la zona de Las Bateas (Quebrada del Río Suquía, Sierras Chicas de Córdoba, Argentina), frente a la reacción álcali-sílice (RAS), utilizando métodos de ensayo convencionales.

Se efectuó la caracterización petrográfico-mineralógica del material, mediante estudios sobre secciones delgadas y difracción de rayos X, identificándose material vítreo, cuarzo microcristalino y tensionado con extinción ondulante, como especies deletéreas. Se midió la expansión en barras de mortero (IRAM 1674). Se determinó la sílice disuelta según el método de ensayo químico (IRAM 1650). Se analizó el contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O, FeO, MgO y MnO lixiviados a la solución y su relación con la SiO<sub>2</sub> y la expansión medida en las barras de mortero.

Los estudios realizados por los métodos físicos, químicos y petrográficos son coincidentes y permiten concluir que el material estudiado es potencialmente reactivo frente a la RAS.

---

\* Estudiante del Doctorado en Ciencias Geológicas en la FCEFYN (UNC) – Becario CONICET.

† Investigador Independiente CIC de la Prov. de Bs. As.

‡ Investigador Independiente CONICET.

§ Investigador Principal CIC de la Prov. de Bs. As.

## INTRODUCCIÓN

A partir de los primeros trabajos de Stanton (1,2), han sido numerosos los minerales y rocas, evaluados frente a la RAS en todo el mundo, debido a su posible vinculación con expansiones deletéreas en las estructuras de hormigón. Los agregados pétreos más reactivos generalmente contienen vidrio volcánico, sílice amorfa, micro y/o criptocristalina o cuarzo tensionado, que dependiendo de su proporción en el volumen de la roca total, pueden producir reacciones expansivas. Hacia fines de la década del '50 comenzaron a realizarse numerosos estudios en Argentina tendientes a evaluar la potencial reactividad de diferentes tipos de rocas utilizadas como agregados para hormigón, llevados a cabo principalmente por la Comisión de Estudio de la Reacción Álcali-Agregado y en especial por el LEMIT (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9). La mayoría de las litologías estudiadas fueron rocas que contenían vidrio volcánico, rocas sedimentarias con cemento silíceo y/o rocas dolomíticas, siendo pocos los antecedentes de estudios realizados sobre rocas metamórficas.

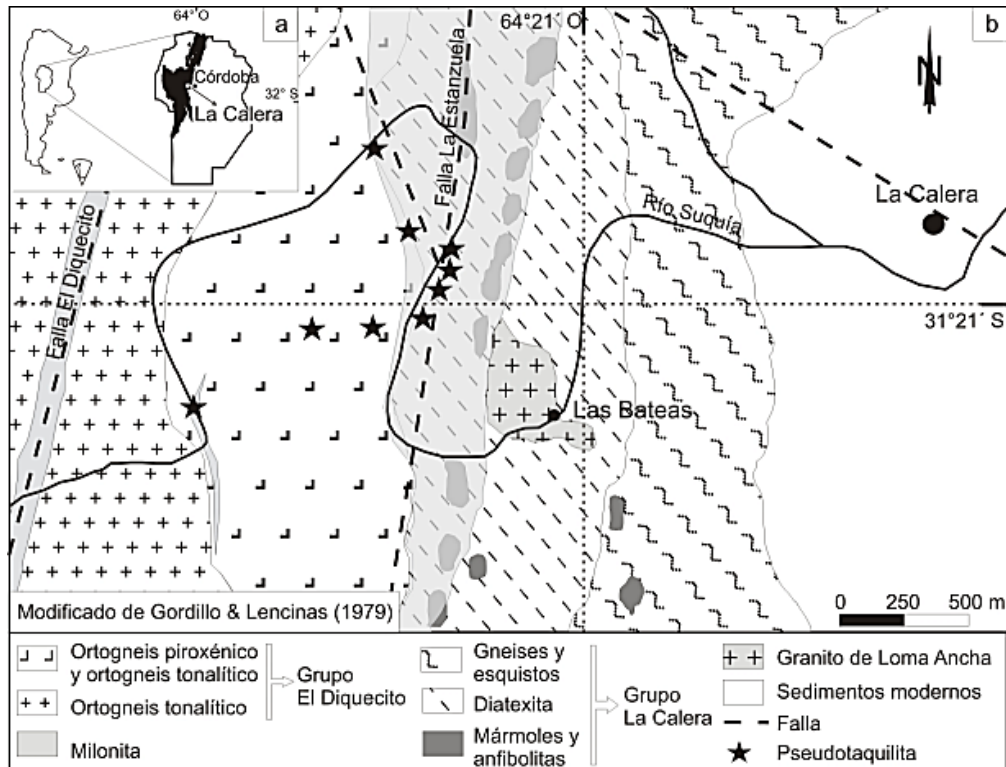
En el presente trabajo se evalúa el comportamiento frente a la RAS de rocas miloníticas con desarrollo local de ultramilonitas y venas de pseudotaquilitas del sector de las Bateas, en las Sierras Chicas de Córdoba (Prov. de Córdoba).

### Marco geológico

El área en estudio comprende el sector de Las Bateas, a 1.5 km al O de La Calera, en la región central del basamento ígneo-metamórfico de las Sierras Chicas de Córdoba (Fig. 1). En este sector, se puede observar el desarrollo de la faja de cizalla dúctil de La Estanzuela, que separa dos dominios litológicos. El Grupo La Calera, integrado por migmatitas, gneises, mármoles calcolomíticos y anfibolitas; y el Grupo El Diquecito, representado por ortogneises piroxénicos, ortogneises tonalíticos a granodioríticos y en menor medida, rocas metasedimentarias) (10, 11 y bibliografías allí citadas). La faja de La Estanzuela afecta a ortogneises, migmatitas, mármoles y anfibolitas principalmente, produciendo la milonitización de estas rocas. Sobreimpuestas a estas fajas, se observan pseudotaquilitas, que se disponen en forma de venas de potencia variable ( $\leq 15$  cm) y orientación cambiante, casi siempre discordantes a la foliación milonítica predominante (Fig. 2a y 2b).

### Definición y caracterización de las pseudotaquilitas

El término pseudotaquilita (12) se refiere a una roca de aspecto similar a una taquilita (vidrio volcánico pobre en sílice), asociada a eventos sísmicos que producen fusión de roca por fricción. Estudios llevados a cabo por Curewitz y Karson (13), reflejan una gran similitud entre las pseudotaquilitas vítreas y el vidrio volcánico, evidenciado por el elevado valor de "background" y la generación de picos poco definidos de los diagramas de rayos X. También se observó un gran parecido de las imágenes de SEM (microscopía electrónica de barrido) entre las pseudotaquilitas y los vidrios basálticos y obsidianas. Se podría considerar a este tipo de roca o al menos a la fracción fundida, con un comportamiento similar al de un vidrio volcánico.



**Figura 1.-** a) Ubicación de la localidad de La Calera dentro de las Sierras Pampeanas de Córdoba. b) Mapa geológico de la zona de Las Bateas, donde se muestrearon las rocas miloníticas con pseudotaquilitas.

Las pseudotaquilitas están compuestas por una fracción fundida y otra que se preserva de la roca original. La composición de la fracción fundida puede variar, dependiendo de cuales minerales son afectados por el proceso de deformación (14), así, para algunos autores la composición del fundido es félsica como las obsidianas (vidrio volcánico rico en sílice) y para otros es de composición máfica (deficitario en sílice) (15). Las rocas vítreas, poseen una alta energía libre (16) y por lo tanto son muy inestables en soluciones alcalinas como lo demuestran numerosas investigaciones llevadas a cabo con este tipo de rocas (17, 18, 19, 20), liberando  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  e incluso  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a la solución de poro del hormigón, lo que las hace potencialmente reactivas, tanto por el aporte alcalino como por el aporte silíceo para la generación de productos relacionados con la RAS.

Si bien la distribución de las pseudotaquilitas es de carácter localizado y representa un escaso porcentaje de las rocas que se explotan para áridos, es importante tener en cuenta que en la mayoría de los casos se encuentran vinculadas a rocas intensamente milonitizadas. Esto último es de suma importancia ya que al "pseudovidrio" generado por fusión en las pseudotaquilitas, se le suma la problemática del cuarzo sometido a deformación evidenciado principalmente por la presencia de cuarzo con extinción ondulante y la generación de subgranos de reducido tamaño. Estos procesos producen deformaciones en la red cristalina del cuarzo (16, 21), aumentando la superficie específica de ataque de las soluciones alcalinas por la formación de dislocaciones y protobordes de granos, que subdividen

al cristal original en varios pseudocristales o por procesos de recristalización que generan cristales de reducido tamaño (<100  $\mu\text{m}$ ).

## **Materiales y Métodos**

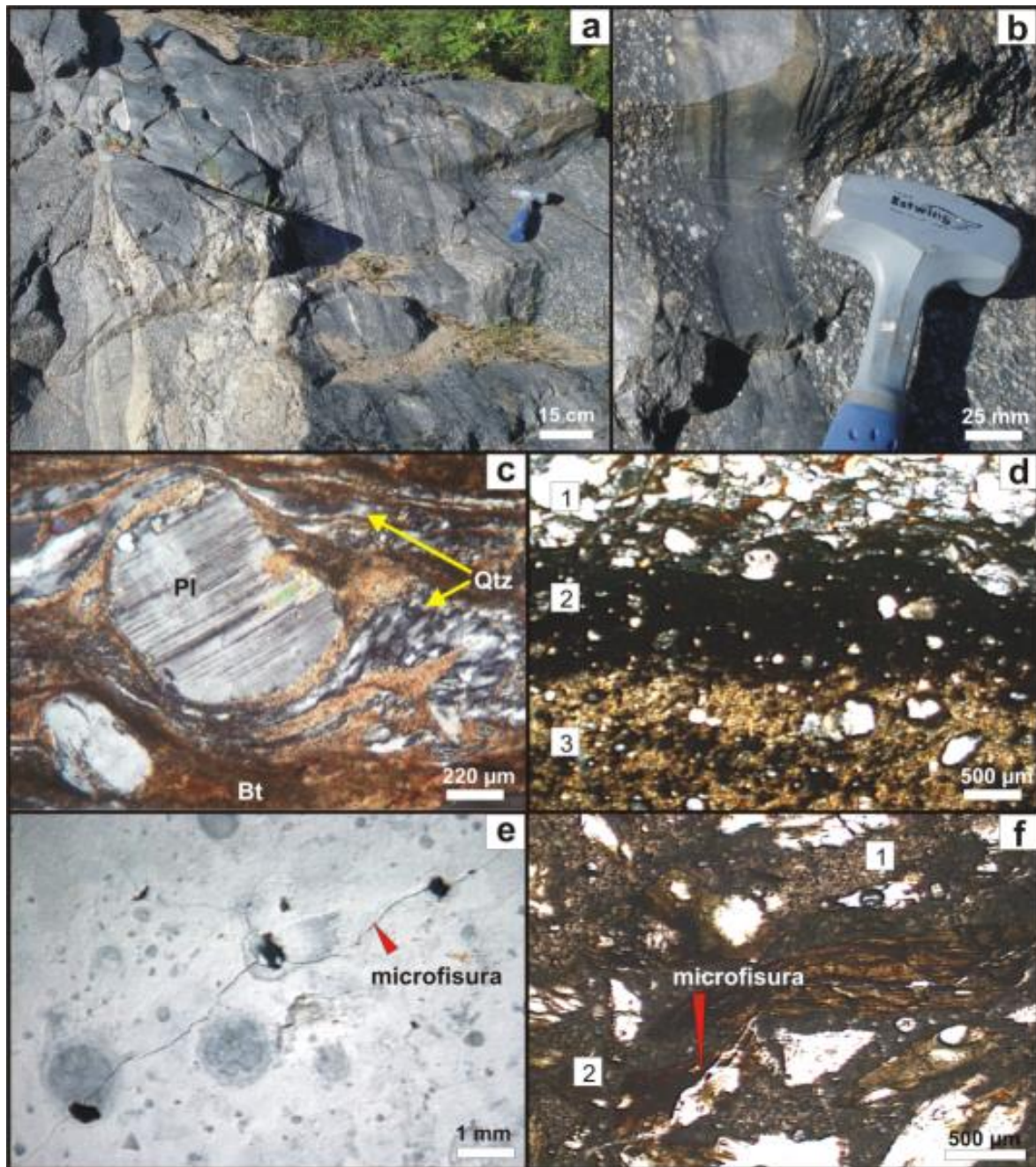
Los materiales utilizados para los estudios y ensayos se obtuvieron por trituración de la milonita de la faja La Estanzuela, incluyendo fajas de ultramilonitas y venas de pseudotaquilitas sobrepuestas.

Para caracterizar las pseudotaquilitas frente a la RAS, se utilizó el ensayo acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) (22); el método petrográfico (IRAM 1649) (23) y se determinó la sílice disuelta según lo establecido en el método de ensayo químico (IRAM 1650) (24). Se analizó la composición de la solución de NaOH luego de realizado el ensayo químico utilizando ICP (espectrometría de emisión con plasma de argón); se utilizó DRX para caracterizar la pseudotaquilita y se efectuó la petrografía de las barras luego de transcurrido el ensayo acelerado.

## **Petrografía de las rocas analizadas**

La roca que hospeda a las venas de pseudotaquilitas es una milonita derivada de la deformación del ortogneis piroxénico, (aunque también afectan a otras rocas del sector). Presenta una marcada foliación, evidenciada por la generación de cintas alargadas de cuarzo que se disponen en forma paralela a la orientación de las folias de biotita de la matriz. Estas cintas, están compuestas principalmente por subgranos de cuarzo de reducido tamaño. Se observan además porfiroclastos rotados de feldespatos de hasta 10 mm y fragmentos redondeados que corresponden a rocas ricas en cuarzo con extinción ondulante, plagioclasa, biotita y anfíbol, y epidoto en forma subordinada (Fig. 2c). Las venas de pseudotaquilitas presentan contactos netos con la milonita y es común observar pequeñas plumas o lenguas de color negro que invaden la roca hospedante. La vena de pseudotaquilita puede dividirse en dos zonas. La externa, más oscura y con propiedades ópticas isótropas donde se preserva entre un 15 a un 20 % de fragmentos de la roca original; y la interna (de mayor espesor), de color marrón oscuro con generación de microlitos aciculares e idiomórficos, la mayoría organizados según una disposición radial. Aquí también se pueden observar fragmentos relícticos de la roca original (cuarzo con extinción ondulante y plagioclasa principalmente) recubiertos de una fina capa de material oscuro similar al de la zona externa de la vena. (Figura 2d)

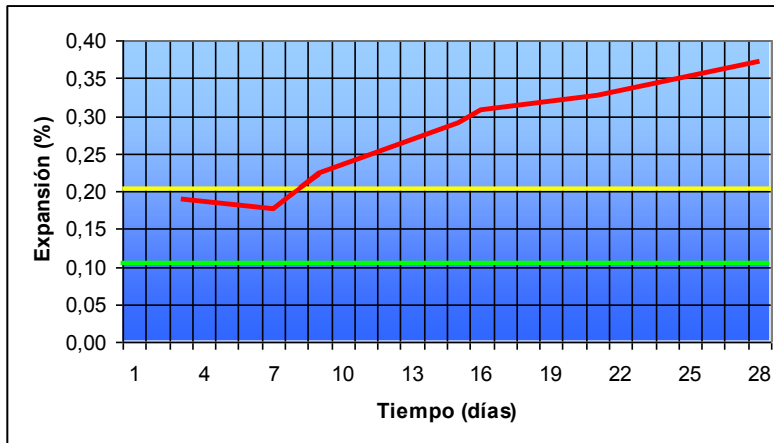
Los análisis de DRX permitieron identificar cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y filosilicatos de la serie de la biotita. Es probable la presencia de arcilla (del grupo de las esmectitas) pero son necesarios estudios más específicos para su confirmación. Es importante destacar la elevación en los valores del background que sufre el diagrama entre  $20^\circ$  y  $30^\circ$  de  $2\theta$ . Esto es adjudicado a la presencia de material amorfo o de baja cristalinidad, que puede ser atribuido a la fracción vitrificada por fusión de la pseudotaquilita y que no sufrió recristalización posterior. Esto es coincidente con lo observado en las secciones delgadas.



**Figura 2-** **a)** Pseudotaquilitas asociadas a faja milonítica de 2 metros de potencia sobre el ortogneis piroxénico. **b)** Detalle de la pseudotaquilita en el que se puede observar la vinculación de la deformación dúctil con la deformación frágil. **c)** Fotomicrografía de la milonita donde se observa un porfiroclasto de plagioclasa rotado y cuarzo microcristalino conformando "cintas", en una matriz principalmente biotítica. **d)** Contacto entre la pseudotaquilita y la roca milonítica hospedante. 1- Milonita, 2- Sector de borde vítreo con algunos fragmentos relícticos de la milonita, 3- Sector interno recrystalizado de la pseudotaquilita. **e)** Imagen de estereomicroscopio de la superficie microfisurada de la barra de mortero. **f)** Fotomicrografía de la barra de mortero después del ensayo acelerado. Se puede observar el desarrollo de microfisuras que afectan a los agregados y a la pasta del mortero. También se observan variaciones de coloración de la pasta, con zonas más claras (1) y zonas más oscuras (2).

## Ensayo acelerado de la barra de mortero

En la Tabla 1 y Fig. 3, se resumen los resultados del ensayo acelerado de la barra de mortero. A los 3 días la expansión supera el límite de 0,10% establecido a los 16 días por norma.



**Figura 3.-** Curva que muestra el progreso de la expansión en el tiempo. En verde y amarillo se marcaron los límites establecidos en la norma (22).

**Tabla 1.-** Expansión en las barras de mortero.

Edad (días)	Expansión (%)
3	0.190
7	0.176
9	0.223
15	0.290
16	0.307
21	0.326
28	0.371

## Examen macro y microscópico de las barras de mortero

A nivel macroscópico se observan microfisuras en la superficie de las barras ensayadas, que en ocasiones se disponen entre las burbujas de aire del mortero (Fig. 2e). La microestructura interna muestra, a nivel microscópico que las microfisuras conectan los agregados atravesando la pasta del mortero y en ocasiones atraviesan a los mismos agregados. No se observaron minerales neoformados durante el ensayo acelerado. Con nicóles cruzados, la pasta presenta variaciones en la coloración, con zonas muy birrefringentes y zonas isotrópicas posiblemente debido a la presencia de material amorfo (Fig. 2f).

## Método de ensayo químico

En la Tabla 2 se muestran los resultados de sílice disuelta y los cationes lixiviados a la solución luego de realizado el ensayo químico. Si bien la sílice disuelta es baja, deben considerarse los importantes aportes de alúmina y óxido de potasio. No se determinó el contenido de  $\text{Na}_2\text{O}$  debido a que la solución analizada es de  $\text{NaOH}$ .

**Tabla 2.-** Análisis químico de la solución de ataque luego de efectuado el método de ensayo químico (24).

	mg/l	mg en la muestra	Milimoles/l
$\text{SiO}_2$	118.33	11.83	39.42
$\text{Al}_2\text{O}_3$	>7.55	>0.755	
$\text{K}_2\text{O}$	7.203	0.7203	
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.2573	0.02573	
$\text{CaO}$	<0.979	<0.0979	
$\text{MgO}$	0.09119	0.009119	
$\text{MnO}$	0.00374	0.00374	

## DISCUSIÓN

La expansión en las barras de mortero a los 3 días, supera el límite establecido por norma para los 16 días, aunque hay que tener presente que la severidad del método acelerado y la presencia de planos de foliación en rocas esquistosas (25), pueden magnificar la expansión observada. Las especies potencialmente reactivas, son: el material vítreo generado por fusión por fricción y el cuarzo tensionado (con la generación de subgranos y cuarzo microcristalino <100  $\mu\text{m}$ ). La roca es heterogénea, ya que las pseudotaquilitas están compuestas por una fracción fundida y otra que se preserva de la roca original.

El valor de la sílice disuelta no es alto, pero coincide con los mencionados en la bibliografía para materiales con cuarzo tensionado y de grano fino. La roca aporta, además de  $\text{SiO}_2$ , importante cantidad de  $\text{K}_2\text{O}$  (7.2 mg/l).

El límite máximo establecido por el CIRSOC 201-2005 (26) para el vidrio volcánico contenido en rocas volcánicas es de 3% y si bien la relación porcentual de abundancia de pseudotaquilitas con las rocas hospedantes raramente supera el 3%, hay que tener cuidado en zonas de fajas de deformación de comportamiento semi-frágil donde estos porcentajes pueden alcanzarse e incluso superarse.

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos con los 3 métodos normalizados dan tendencia similar, calificando al material como potencialmente reactivo frente a la RAS.
- Las especies deletéreas identificadas, corresponden al material vítreo generado por fusión por fricción en las pseudotaquilitas y al cuarzo tensionado de grano fino de las milonitas y ultramilonitas.
- Si bien el contenido de sílice disuelta no es elevado, debe tenerse en cuenta que el aporte de álcalis de estas rocas contribuirá al desarrollo de reacciones deletéreas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNC, a la UNS, al CONICET, a la CIC de la Prov. de Bs. As., y al LEMIT por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS

- (1) Stanton, T. E., "Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate", Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Volume 66, (1940a), p. 1781.
- (2) Stanton, T. E., "Influence of Cement and Aggregate on Concrete Expansion", Engineering News-Record, Volume 124, (1940b), p. 59.
- (3) Milanesi, C. A., Marfil, S. A., Batic, O. R. and Maiza, P. J., "The alkali-carbonate reaction and its reaction products an experience with argentinean dolomite rocks", Cement and Concrete Research, v. 26, n° 10, (1996), pp. 1579-1591.

- (4) Marfil, S. A., Maiza P. J., Bengochea, A. L., Sota, J. D. and Batic, O. R., "Relationships between SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O, and expansion in the determination of the alkali reactivity of basaltic rocks", *Cement and Concrete Research*, v 28, n° 2, (1998), pp. 189-196.
- (5) Sota, J. D., Milanese, C. A., Batic, O. R., "Correlación de parámetros medidos en probetas de hormigón afectada por la reacción álcali sílice", *Jornadas SAM 2000 - IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga*, (2000), pp. 1159-1166.
- (6) Marfil, S. y Maiza, P. "Deteriorated pavements due to the alkali-silica reaction. A petrographic study of three cases in Argentina", *Cement and Concrete Research*, v. 31, 2001, pp. 1017-1021.
- (7) Anaya, H. D. Leiva, L. E., Castría N., "Comportamiento de cementos de uso general frente a la reacción álcalis sílice (RAS)", *Rev. CET, Fac. de Cs. Ex. y Tec. U.N.T.*, n° 25, (2004), pp. 12-19.
- (8) Palazzi, S. y Arias, C., "Recomendaciones complementarias al CIRSOC 201-2002 para la utilización de agregados de la Cuenca Salí-Dulce, reactivos a la reacción álcalis-sílice, en estructuras de hormigón", *Revista CET, Fac. de Cs. Exac. y Tec. UNT*, n° 26, (2005), pp. 32-40.
- (9) Ponce, J. M. y Batic, O. R., "Different manifestations of the alkali-silica reaction in concrete according to the reaction kinetics of the reactive aggregate", *Cement and Concrete Research*, v. 36, (2006), pp. 1148-1156.
- (10) Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J., Galindo, C. y Fanning, C., "The Pampean Orogeny of the southern proto-Andes: Cambrian continental collision in the Sierras de Córdoba", En: Pankhurst, R. J. y Rapela, C. W. (Eds.), "The Proto-Andean Margin of Gondwana", *Geological Society, London, Special Publications*, 142, (1998), p. 181-217.
- (11) Freguglia, E., "La metabasita piroxénica de Villa El Diquecito. La Calera, Sierra Chica de Córdoba", Trabajo Final (inédito), *Fac. de Cs. Exac., Fís. y Nat. UNC*, (2004), 57 p.
- (12) Shand, S. J., "The Pseudotachylyte of Parijs (Orange Free State), and its Relation to 'Trap-Shotten Gneiss' and 'Flinty Crush-Rock' ", *Quarterly Journal of the Geological Society*, v. 72, 1-4, (1916), p. 198-221.
- (13) Curewitz, D. and Karson, J., "Ultracataclasis, sintering, and frictional melting in pseudotachylytes from East Greenland", *Journal of Structural Geol.*, 21, (1999), p. 1693-1713.
- (14) Camacho, A., Vernon R. H. and Fitz Gerald J. D., "Large volumes of anhydrous pseudotachylyte in the Woodroffe Thrust, eastern Musgrave Ranges, Australia", *Journal of Structural Geology*, v. 17, n° 3, (1995), p. 371-383.
- (15) Maddock, R. H., "Effects of lithology, cataclasis and melting on the composition of fault-generated pseudotachylytes in Lewisian gneiss, Scotland", *Tectonophysics*, v. 204, 3-4, (1992), p. 261-278.
- (16) Vernon, R., "A Practical Guide to Rock Microstructure", *Cambridge Univ. Press*, (2004), 594 p.
- (17) Morino, K., "The petrological study of alkali-reactive aggregate", *Transactions of the Japan Concrete Institute*, 6, (1984), p. 207-214.
- (18) Goguel, R., "Alkali release by volcanic aggregates in concrete", *Cement and Concrete Research*, v. 25, n° 4, (1995), p. 841-852.
- (19) Wakizaka, Y., "Alkali-silica reactivity of Japanese rocks", *Eng. Geology*, 56, (2000), p. 211-221.
- (20) Korkanç, M. and Tuğrul, A., "Evaluation of selected basalts from the point of alkali-silica reactivity", *Cement and Concrete Research*, 35, (2005), p. 505- 512.
- (21) Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J., "Microtectonics", (2 ed.), *Springer, Berlin*, (2005), 366 p.
- (22) IRAM 1674, "Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero", (1997), 14 p.
- (23) IRAM 1649, "Agregados para hormigones. Examen petrográfico", (1968), 14 p.
- (24) IRAM 1650, "Reactividad alcalina en áridos. Método de ensayo químico", (1968), 15 p.
- (25) Kerrick, D. M. and Hooton, R. D., "ASR of concrete aggregate quarried from a fault zone: results and petrographic interpretation of accelerated mortar bar tests", *Cement and Concrete Research*, v. 22, (1992), p. 949-960.
- (26) CIRSOC 201 (Proyecto en trámite de aprobación), "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón", *Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC), del Sistema INTI*, (2005), <http://www.inti.gov.ar/cirsoc/>