

## ESTUDIO DE BARRAS DE MORTERO Y PRISMAS DE HORMIGÓN ELABORADOS CON BASALTOS DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES

Madsen Lenís<sup>1,2</sup>, Falcone Darío<sup>3,4</sup>, Locati Francisco<sup>5</sup>, Marfil Silvina<sup>1,2</sup>, Rocco Claudio<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Geol. UNS, San Juan 670, Bahía Blanca. [lenis.madsen@uns.edu.ar](mailto:lenis.madsen@uns.edu.ar), [smarfil@uns.edu.ar](mailto:smarfil@uns.edu.ar), <sup>2</sup> CGAMA (CIC-UNS) de la Prov. de Bs. As, <sup>3</sup> LEMIT-CIC. Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, LEMIT. Av. 52 e/121 y 122 La Plata, <sup>4</sup> UNLP. Área Departamental Construcciones. Facultad de Ingeniería. Calle 48 y 115. 1900. La Plata. [cgrocco@ing.unlp.edu.ar](mailto:cgrocco@ing.unlp.edu.ar), <sup>5</sup> CICTERRA (CONICET-UNC), Av. Vélez Sarsfield 1611 X5016GCA. Córdoba. [flocati@unc.edu.ar](mailto:flocati@unc.edu.ar).

### RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la potencial reactividad de agregados basálticos provenientes de 3 canteras de la provincia de Corrientes, mediante el examen petrográfico (IRAM 1649) y requerimientos de la norma IRAM 1531, el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) y el ensayo del prisma de hormigón a 60 °C y 38°C (IRAM 1700). De forma complementaria se determinó la sílice disuelta según lo establecido en la norma IRAM 1650 para evaluar el potencial aporte de sílice por parte de los agregados y correlacionar estos valores con la expansión medida en los ensayos físicos. Finalmente, se determinó el porcentaje de área fisurada utilizando microscopía óptica con luz UV incidente, sobre las barras de mortero luego de cumplido el tiempo de ensayo. Los valores de expansión medidos en las barras de mortero oscilan entre 0,21% y 0,47% a los 16 días de edad calificando a las tres muestras como potencialmente reactivas. Los resultados del prisma de hormigón evidenciaron un comportamiento diferente. Una de las muestras resultó potencialmente reactiva, otra no reactiva tanto en el ensayo acelerado como en el convencional y en la tercera se obtuvo un valor cercano al límite máximo de 0,04% en el ensayo acelerado, mientras que en el prisma convencional se calificó como no reactiva. Los valores de sílice disuelta y porcentaje de área fisurada muestran buena correlación con los valores de expansión.

**Palabras claves:** Reacción álcali-sílice (RAS), fluorescencia, métodos acelerados.

### INTRODUCCIÓN

En la Mesopotamia Argentina existen depósitos de rocas basálticas de grandes espesores, que constituyen una importante fuente de agregados, cuyo empleo se extiende a lo largo de varias provincias de nuestro país. Desde el punto de vista de la durabilidad, estos basaltos presentan en general un comportamiento satisfactorio en servicio, sin embargo existen casos documentados en los que se han manifestado fenómenos deletéreos severos por efecto de la reacción álcali-sílice (RAS) cuando son utilizados para la elaboración de hormigón.

Según diversos autores [1, 2, 3, 4] la principal causa del comportamiento deletéreo en las rocas volcánicas es la presencia de vidrio (fresco o alterado, principalmente a minerales arcillosos) y sílice micro y/o criptocristalina (ópalo, tridimita, cristobalita y cuarzo secundario).

Además, podrían desarrollarse reacciones expansivas debido al cambio volumétrico de la montmorillonita, aunque este concepto aun es tema de discusión. Batic et al. [1,2] realizaron aportes importantes en el comportamiento de agregados con montmorillonita, incluyendo basaltos toleíticos y olivínicos alterados, del sector estudiado. Otro factor a considerar es la propia heterogeneidad de las coladas y el grado de alteración de la roca, lo cual dificulta la cuantificación de los componentes mineralógicamente reactivos.

El propósito del presente trabajo es evaluar el comportamiento frente a la RAS de rocas basálticas provenientes de tres canteras de la provincia de Corrientes y correlacionar los resultados de los ensayos físicos con la sílice disuelta, la composición mineralógica y grado de alteración de las rocas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se estudiaron 3 canteras de basalto que se encuentran actualmente en explotación ubicadas en la provincia de Corrientes, en proximidades a la localidad de Curuzú Cuatía denominadas A, B y C. Se tomaron 2 m<sup>3</sup> del material de acopio (piedra partida fracción 6-20 mm). Las muestras fueron reducidas por cuarteo y trituradas en laboratorio según los requerimientos de cada ensayo.

Se realizaron estudios petrográficos según lo establecido en la norma IRAM 1649 [5] considerando los requisitos de la norma IRAM 1531 [6]; físicos según las especificaciones de las normas IRAM 1674 [7] e IRAM 1700 a 60 °C y 38 °C [8] y químicos (IRAM 1650) [9], para evaluar su potencial reactividad frente a la RAS.

Luego de cumplido el tiempo de ensayo, se confeccionaron secciones delgadas de las barras de mortero, previamente impregnadas con resina fluorescente. Se estudiaron mediante un microscopio óptico Leica DM4500 P LED con luz UV incidente (epifluorescencia) con un aumento x100 (ocular x10 y objetivo x10). Se realizó un barrido continuo del área ocupada por la sección delgada (25 mm x 35 mm) tomando un promedio de 50 imágenes por muestra.

Para discriminar las fisuras en cada imagen, se realizó un mapeo en forma manual, con el programa Corel Draw X6. Se adaptó el grosor de la línea al ancho de cada fisura en todas las imágenes y en el caso de aquellas de morfología irregular, se mapearon con su forma construyendo superficies rellenas. Luego se exportaron los mapas de fisuras a imágenes binarias y se calculó el área fisurada de cada mapa mediante el software ImageJ [10].

## **RESULTADOS**

### **Examen petrográfico (IRAM 1649 y 1531)**

Las rocas de las canteras estudiadas son basaltos toleíticos. Al microscopio óptico sobre secciones delgadas, se observó que están constituidas por una asociación mineralógica de grano fino, con textura intersertal a intergranular, compuestas por tablillas de plagioclasa subhedrales, que se presentan fracturadas y con bordes corroídos. Es

frecuente que estos fenocristales estén parcialmente argilizados y/o albitizados. Esporádicamente se reconocen individuos de sanidina frescos, en ocasiones asociados con cuarzo microgranular dando lugar a la formación de texturas poiquilíticas y micrográficas. En los espacios intercristalinos se disponen augita y augita titanífera, parcialmente desferrizadas, asociadas a óxidos e hidróxidos de hierro. Algunos sectores presentan minerales arcillosos de baja birrefringencia, asociados con minerales opacos y apatito, estos últimos dispuestos en finas agujas sin orientación preferencial. Se observó vidrio relicto en cantidades variables, conservando sus características isotrópicas. Los procesos de alteración, especialmente aquellos que afectaron al vidrio volcánico, generaron montmorillonita. Ésta, también aparece como relleno de microfisuras en los minerales primarios. En la Tabla 1 se resumen las principales características mineralógicas y texturales de las rocas estudiadas.

Se identificaron y cuantificaron los componentes potencialmente reactivos presentes en cada muestra. Según los resultados obtenidos (Tabla 1), sólo el agregado de la cantera C excede el límite de 3% de vidrio volcánico, estipulado en la norma IRAM 1531 mientras que las muestras A y B califican como no reactivas frente a la RAS según el examen petrográfico.

### Ensayos físicos (IRAM 1674 y 1700) y químicos (IRAM 1650)

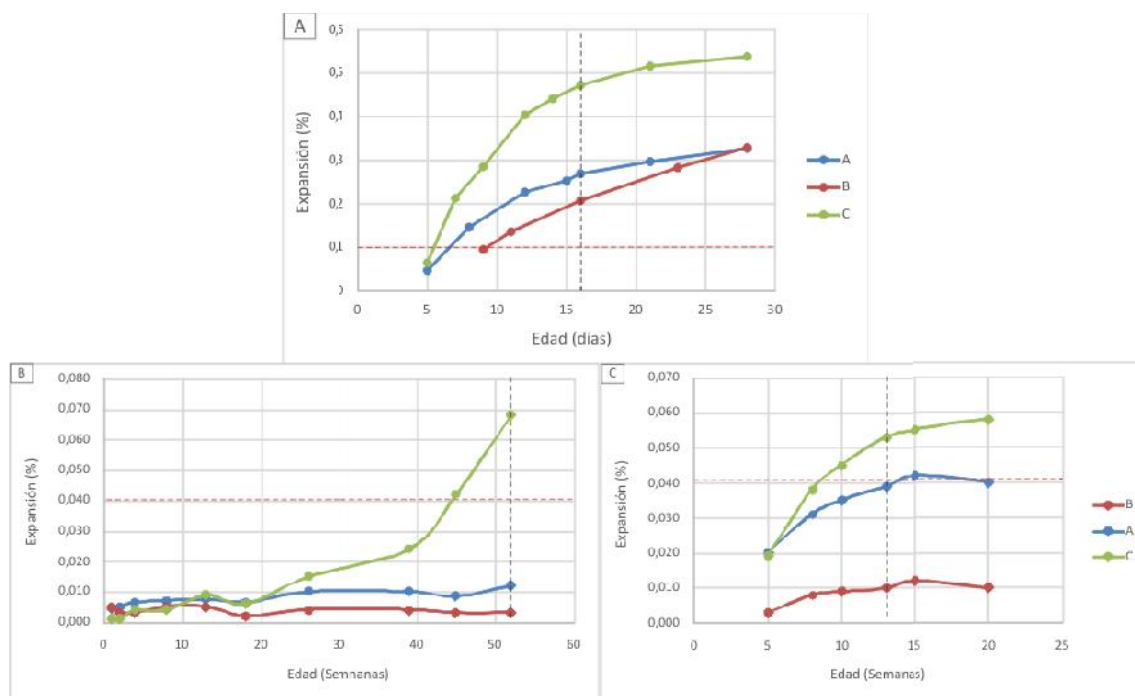
En la Tabla 2 se indican los resultados de los ensayos físicos y químicos normalizados. Todas las muestras ensayadas presentaron valores de expansión que superan ampliamente el límite máximo de 0,10% (a 16 días) establecido por la norma IRAM 1674 calificando a los agregados como potencialmente reactivos, según este ensayo (Figura 1A).

**Tabla 1:** Características petrográficas de las rocas estudiadas.

	TEXTURA	PLAGIOCLASA	MINERALES MÁFICOS	MINERALES ACCESORIOS Y DE ALTERACIÓN	VIDRIO (%)
<b>A</b>	Intersertal	Andesina cálcica (140µm-400µm)	Piroxenos (Augita/augita titanífera)	Apatito, minerales opacos, clorita montmorillonita, sanidina anhedral	1,6
<b>B</b>	Intergranular en sectores intersertal	Andesina, levemente alterada (110µm-300µm)	Piroxenos (Augita)	Apatito, cuarzo anhedral, calcita, sanidina, clorita, minerales opacos, albita, zeolitas, illita, montmorillonita	<0,5
<b>C</b>	Porfírica y pasta intersertal	Andesina (200µm-400µm)	Piroxenos (Augita)	Apatito, illita, montmorillonita, minerales opacos, calcita, sílice criptocristalina, zeolitas	5,3

**Tabla 2:** Resultados de los ensayos normalizados según IRAM 1650/1674/1700.

Cantera	Sílice disuelta (mg)	Expansión (%) en barras de mortero a los 16 días	Expansión (%) en prisma de hormigón a las 52 semanas a 38 °C	Expansión (%) en prisma de hormigón a las 13 semanas a 60 °C
A	35,4	0,269	0,012	0,039
B	7,0	0,207	0,003	0,026
C	56,2	0,472	0,068	0,052



**Figura 1:** Evolución de la expansión en función de la edad. A: Barra de mortero a 16 días. B: Prisma de hormigón a 52 semanas y 38 C°. C: Prisma de hormigón a 13 semanas y 60 C°.

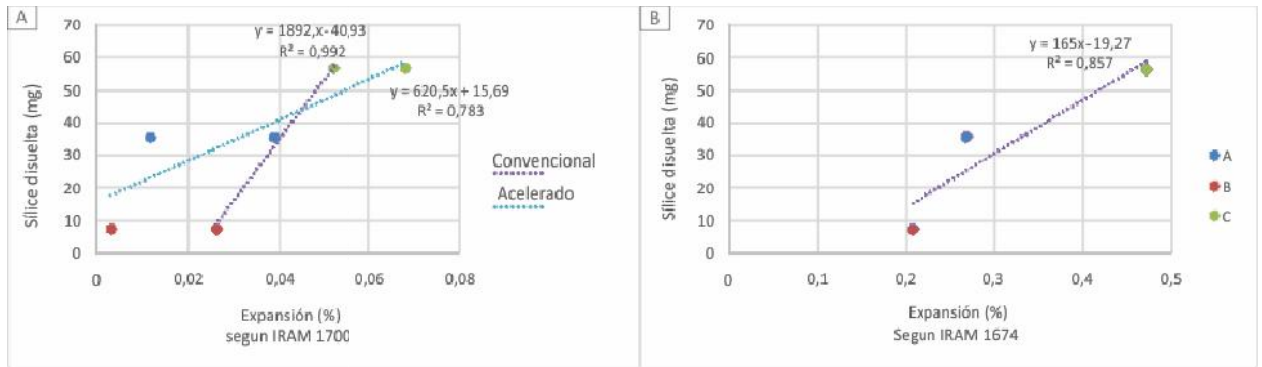
De los resultados de expansión de los prismas de hormigón tanto a las 52 como a las 13 semanas de edad (Figura 1B y 1C y Tabla 2), se observa que el agregado de la cantera C presenta valores de expansión que superan el límite máximo de 0,04%, calificándolo como potencialmente reactivo. El agregado A, evidencia valores muy cercanos al límite en el prisma acelerado, sin embargo, en el prisma convencional tiene un comportamiento inocuo. El agregado de la cantera B se califica como inocuo con ambos métodos. De acuerdo con experiencias previas [11] sobre agregados de reacción rápida evaluados con el método de ensayo químico se considera que valores de sílice disuelta superiores a 20 mg son coincidentes con un comportamiento potencialmente reactivo en los ensayos físicos y valores menores a 10 mg se correlacionan con agregados calificados como inocuos. Los resultados obtenidos (Tabla 2) muestran que la sílice disuelta resultó elevada en las muestras A y C, mientras que en B es inferior a 10 mg.

En la Figura 2 se muestra la correlación entre la sílice disuelta y la expansión (%) en el prisma convencional, prisma acelerado (Fig. 2A) y en la barra de mortero (Fig. 2B). En los tres gráficos se observa muy buena correlación entre las variables.

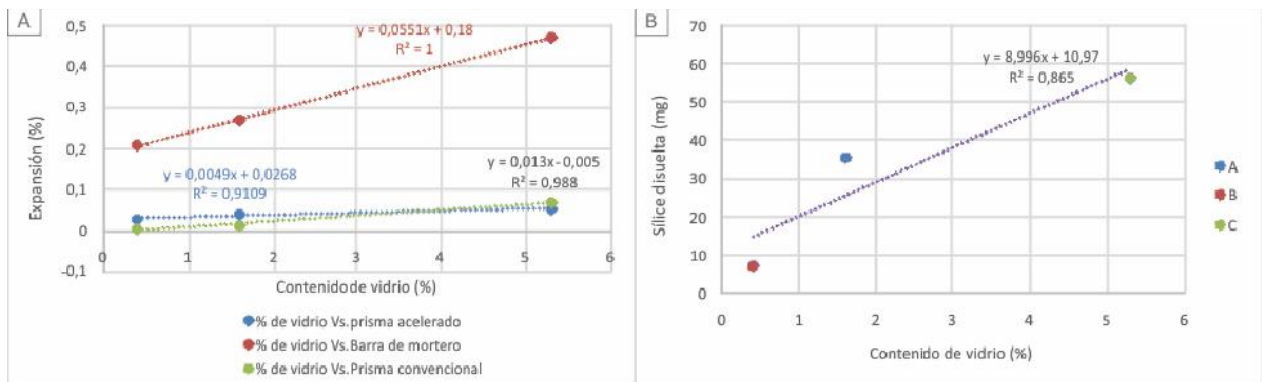
En la Figura 3A se muestran los resultados de expansión de las barras de mortero y prismas de hormigón, en función del porcentaje de vidrio determinado en las muestras ensayadas. En la Figura 3B se observa la relación entre el contenido de vidrio y la sílice disuelta. En todos los casos existe buena correlación lineal.

### Determinación del área fisurada medida en las barras de mortero

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos (valor promedio de 50 mediciones por imagen) del área fisurada medida sobre las barras de mortero. En la Figura 4 se muestra dos sectores de las barras que evidenciaron menor y mayor expansión, correspondientes a las canteras B y C respectivamente. En la primera el mayor fisuramiento se da de manera localizada, afectando sólo la pasta, mientras que en B, las fisuras también afectan los agregados.



**Figura 2:** Relación entre expansión (%) según IRAM 1700(A) e IRAM 1674 (B) vs. sílice disuelta según IRAM 1650.



**Figura 3:** Relación entre el contenido de vidrio volcánico (%) y la expansión medida según IRAM 1674 y 1700 (A) y con la sílice disuelta según IRAM 1650 (B).

**Tabla 3:** Promedio de área fisurada de cada muestra.

Canteras	Área fisurada (% , valor promedio)	Desvío estándar del área fisurada
A	0,21	0,16
B	0,23	0,16
C	0,33	0,14

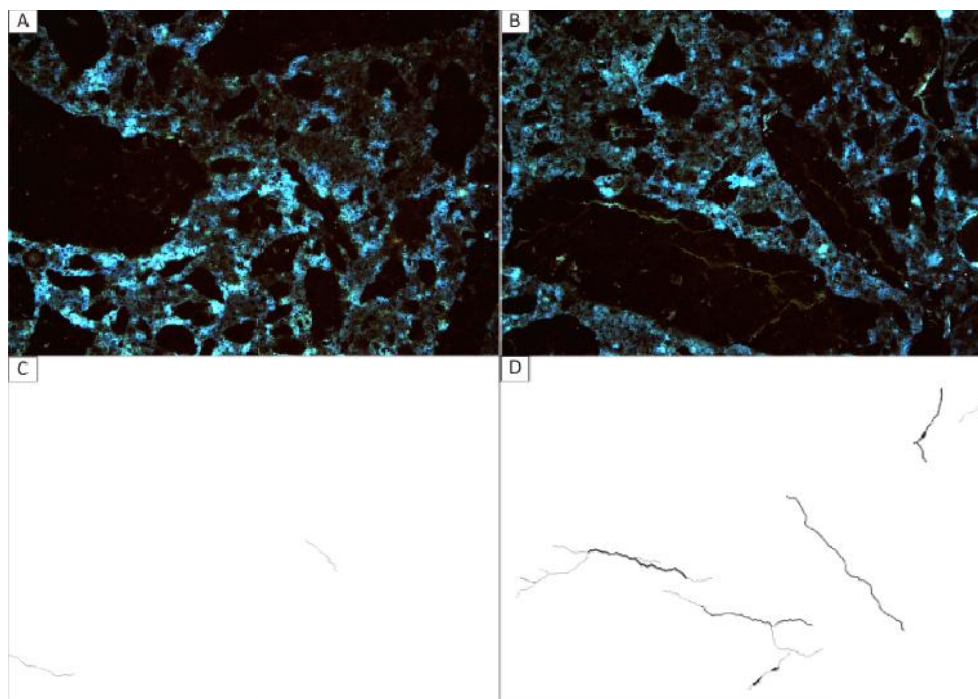
En la Figura 5 se graficaron los porcentajes de área fisurada (resultados promedio de las imágenes procesadas por cada muestra) vs. la expansión de las barras de mortero a los 16 días.

## DISCUSIÓN

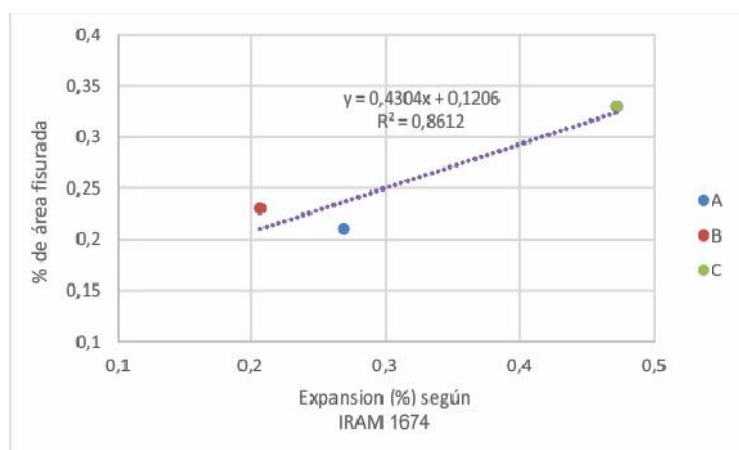
De la comparación de los resultados obtenidos por los métodos petrográfico, químico y ensayos físicos se puede observar que en todos los casos el % de expansión medido (tanto en la barra de mortero como en el prisma de hormigón), la sílice disuelta y el contenido de vidrio mantienen la relación de potencial reactividad: B < A < C.

Solo el ensayo acelerado de la barra de mortero califica a las 3 muestras como potencialmente reactivas, sin embargo debe considerarse que el valor de expansión de C casi duplica al de las otras canteras.

Los resultados del ensayo del prisma acelerado califican sólo como potencialmente reactivo al agregado de la cantera C, aunque para “A” se obtuvo un valor muy cercano al límite máximo (0,039%).



**Figura 4:** A y B: Fotomicrografías de dos sectores en las barras de mortero ensayadas según IRAM 1674, vistos con luz UV. A) Barra de mortero con la menor expansión (cantera B). B) Barra de mortero con la mayor expansión (cantera C). C y D: Mapas de fisuras de las imágenes vistas en A y B respectivamente.



**Figura 5:** Relación entre la expansión (%) de las barras de mortero a los 16 días vs. valores promedio de área fisurada (%).

Para verificar si se trata de falsos positivos en la barra de mortero o falsos negativos en el prisma de hormigón se elaboraron prismas ensayados a 38 °C a un año de edad.

Los resultados del prisma convencional a 52 semanas mantienen la relación  $B < A < C$ . Sólo el agregado de la cantera C califica como potencialmente reactivo.

Los resultados del estudio petrográfico también califican como potencialmente reactivo sólo al agregado de la cantera C, aunque debe considerarse que el contenido de vidrio de la muestra de la cantera A es ~ 2%.

En base a la sílice disuelta determinada según los requerimientos de la norma IRAM 1650 sólo "B" dio valores inferiores a 10 mg.

El porcentaje promedio de área fisurada calculado sobre las barras de mortero muestra relación con los resultados de los ensayos físicos, dando mayor porcentaje para el agregado de la cantera C, siendo los valores para “A” y “B” muy cercanos.

## CONCLUSIONES

El agregado analizado de la cantera C se califica como potencialmente reactivo frente a la RAS de acuerdo a los ensayos físicos (barra de mortero y prismas acelerado y convencional) y petrográficos.

La muestra de la cantera A es potencialmente reactiva según el método acelerado de la barra de mortero, arrojando un valor muy cercano al límite en el prisma acelerado (0,039%). El análisis petrográfico y el ensayo del prisma de hormigón a 38 °C la califican como inocua.

El agregado de la cantera B se califica como potencialmente reactivo sólo con el método acelerado de la barra de mortero siendo inocua de acuerdo a los requerimientos de las normas IRAM 1700 (acelerado y convencional) y 1531.

El valor de sílice disuelta medido según IRAM 1650 se correlaciona con los resultados obtenidos en los ensayos físicos y petrográficos. Solo el agregado de la cantera B dio valores inferiores a 10 mg.

El contenido de vidrio volcánico se correlaciona con la expansión medida en las barras de mortero y prismas (acelerado y convencional). Existe además buena correlación entre el porcentaje de vidrio y la sílice disuelta.

El área fisurada calculada sobre las muestras A y B arrojan valores muy similares. El agregado de la cantera C presenta los valores más elevados, lo cual es coincidente con su potencial reactividad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNS, a la UNLP, al CICTERRA (CONICET-UNC), y al CGAMA-CIC por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS

- [1] Batic, O., Sota, J. & Maiza, P. “Alkali aggregate reaction in Concrete: Montmorillonite included in some aggregates: A principal factor of ASR”. Ninth International Conference ASR, London, (1992) 1: 53-60.
- [2] Batic, O., Maiza, P., & Sota, J. “Alkali silica reaction in basaltic rocks NBRI method”. Cement and Concrete Research, 24(7), (1994). 1317-1326.
- [3] Maiza, P., Marfil, S. A., Sota, J. D., y Batic, O. R. “Estudio comparativo de rocas basálticas frente a la RAS” XII Reunión de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH). (1995).
- [4] Marfil, S. A., y Maiza, P. “Características petrográfico-mineralógicas de la alteración de basaltos de la Meseta de SomónCurá, prov. de Río Negro”. III Reunión de Mineralogía y Metalogénia, La Plata (1998).
- [5] IRAM 1649. “Examen petrográfico de agregados para hormigón”. Instituto Argentino de Normalización de Materiales” (IRAM), (2008), 13 pp.
- [6] IRAM 1531. “Agregado grueso para hormigón de cemento. Instituto Argentino de Normalización de Materiales (IRAM), (2016), 28 pp.

- [7] IRAM 1674. "Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra del mortero". Instituto Argentino de Normalización de Materiales" (IRAM), (1997) 15 pp.
- [8] IRAM 1700. "Agregados. Determinación del cambio de longitud debido a la reacción álcali-agregado, en prismas de hormigón". Instituto Argentino de Normalización de Materiales" (IRAM), (1997).17 pp.
- [9] IRAM 1650. "Reactividad alcalina potencial en agregados. Método de ensayo químico". Instituto Argentino de Normalización de Materiales" (IRAM), (1968) 15 pp.
- [10] Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institute of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, (1997-2016).
- [11]Rocco, C., Maiza, P., Fava, C., Marfil, S., y Tobes, J.M. "Reactividad alcalina potencial de los basaltos mesopotámicos". XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. (2012).