

EXPERIENCIAS SOBRE LA CARACTERIZACIÓN DE ALGUNOS BASALTOS DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES (ARGENTINA) FRENTE A LA REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE (RAS)*

Carlos A. Milanesi ⁽¹⁾

Cementos Avellaneda S. A. - Defensa 113 Piso 6, Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
TE: (011) 4331-7081 FAX: (011) 4331-1664

Palabras clave: Basalto, durabilidad, reacción álcali-agregado, reacción álcali-silice, RAS, vidrio volcánico, desvitrificación, esmectita, cristobalita, tridimita.

RESUMEN

La construcción del pavimento de hormigón de la Ruta Nacional N° 14 (Corrientes), impuso la necesidad de evaluar la aptitud de los agregados basálticos de la zona de influencia de la obra.

La respuesta del basalto frente a la RAS constituyó un aspecto de interés central, ante la existencia de un antecedente de reacción en una obra en servicio, de la misma tipología, próxima al emplazamiento de la nueva calzada.

Sobre una muestra de basalto, extraída de una cantera próxima a la obra, se realizaron diversos estudios de caracterización (IRAM 1649, ASTM C 289, IRAM 1519, IRAM 1674, IRAM 1700).

En base a estos estudios, se concluye que la reactividad de este agregado es moderada y se debe a la presencia de cristobalita, tridimita y vidrio volcánico.

A partir de estos resultados y de la información bibliográfica disponible, se realiza un análisis crítico de las causas que dan origen a la reactividad alcalina de los basaltos tholeiíticos de la Mesopotamia.

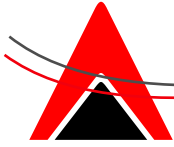
INTRODUCCIÓN

La construcción del pavimento de hormigón de la Ruta Nacional N° 14, en la provincia de Corrientes, impuso la necesidad de iniciar una serie de estudios destinados a determinar la aptitud de los agregados de la zona de influencia de la obra para su uso en la elaboración de las mezclas de hormigón.

Existen, en esta zona, dos agregados gruesos de posible utilización: un canto rodado silíceo y una piedra partida basáltica. Si bien, ambos, desde el punto de vista petrográfico, son potencialmente reactivos, el uso del basalto constituye la alternativa más apropiada, por sus mejores características físicas (menor coeficiente de dilatación térmica, menor rigidez, menor dureza, mayor adherencia) (1).

1) Ing. Civil UNC, Jefe Departamento de Asistencia Técnica, Cementos Avellaneda S. A.,
cam@cavellaneda.com.ar

* Trabajo publicado en la memorias del III Congreso Internacional y 17ª Reunión Técnica "Ingeniero José Fermín Colina", Rahhal V. y Sota J. D. Editores, AATH, Córdoba, Octubre de 2008



La evaluación del comportamiento del basalto frente a la RAS, constituyó un aspecto de particular interés para los profesionales involucrados dentro de esta temática, ante la existencia de un antecedente de reacción en una obra en servicio, de la misma tipología, próxima al emplazamiento de la nueva calzada (2).

En este trabajo, se informan los resultados obtenidos en los estudios de caracterización realizados sobre una muestra de basalto, extraída de una cantera en explotación, próxima a la obra. Entre los estudios efectuados, se incluyen la determinación de la composición mineralógica del agregado, la valoración de la cantidad de sílice soluble, su comportamiento en etilen-glicol y la evaluación de su reactividad alcalina, en mezclas de mortero (NBRI) y hormigón (IRAM 1700).

Sobre la base de los resultados obtenidos en estos estudios y la información bibliográfica disponible, se realiza un análisis crítico de las causas que podrían dar origen a la reactividad alcalina de los basaltos tholeiíticos de la Mesopotamia.

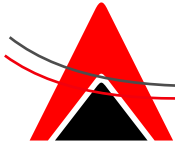
GENERALIDADES ACERCA DE LOS BASALTOS MESOPOTÁMICOS

Los basaltos son rocas volcánicas, de carácter básico (deficientes en sílice). Por ello, aún cuando fuese natural esperar en ellas un comportamiento inocuo, existen algunos antecedentes de RAS, en distintas partes del mundo (Australia, Islandia, Japón, Nueva Zelanda, Portugal), incluso, en nuestro país (2-6).

Según Teruggi (7), la composición mineralógica de los basaltos de la zona mesopotámica (Corrientes y Misiones) es muy sencilla, ya que son sólo tres los constituyentes principales (plagioclasas, clinopiroxenos, minerales opacos de hierro), además de los minerales accesorios (vidrio volcánico, olivina, apatita y circón).

El vidrio volcánico (palagonita) es, en general, escaso, aunque puede hallarse en porcentajes superiores al 3 % (7, 8). Posee un índice de refracción entre 1,545 y 1,560, y aunque puede presentarse fresco, es frecuente hallarlo alterado, formando productos secundarios arcillosos, de características expansivas.

Los estudios iniciados a raíz de los diversos proyectos y obras construidas sobre los ríos Paraná y Uruguay, durante la década del 70' (Salto Grande, Yacyretá, Garabí) (9, 10), permitieron establecer que estos productos secundarios están constituidos por minerales de la familia de las esmectitas (montmorillonita, griffithita, saponita) y que los mismos se han formado como producto de la alteración del vidrio volcánico (desvitrificación), o bien, se han desarrollado en las vesículas, como resultado de la acción hidrotermal que afectó a estos basaltos.



Cuando la esmectita se encuentra diseminada en el basalto en forma intersticial y en elevada proporción, puede conducir al deterioro del hormigón por su gran inestabilidad volumétrica a los cambios de humedad. Este aspecto de la durabilidad de los basaltos es citado en la bibliografía internacional (11) y ha sido ampliamente investigado en el país (12-14).

Las primeras experiencias realizadas en nuestro país acerca de la reactividad alcalina de los basaltos de la mesopotamia se iniciaron, en el LEMIT, a mediados de la década del 60', y sirvieron de antecedente para los estudios del proyecto del aprovechamiento hidráulico de Salto Grande (15). Los resultados de estas primeras experiencias confirmaron la reactividad de este basalto, la cual, hasta el año 1992, fue atribuida, exclusivamente, a la presencia de vidrio volcánico (12, 13, 15-17).

A partir de este año, Batic y colaboradores, en base a ensayos acelerados realizados en morteros (18-20), postulan que la esmectita, diseminada en forma intersticial en la masa del basalto, al ser degradada por el ataque alcalino, aporta sílice y álcalis solubles a la solución de poros, contribuyendo a la RAS.

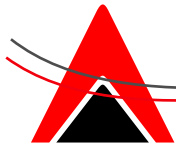
A pesar de tratarse de un aspecto controvertido (3, 8, 21, 22), en el año 2006, las normas IRAM 1512 y 1531, amplían el listado de minerales potencialmente reactivos frente a la RAS, incluyendo en éste a las esmectitas (23, 24). No obstante, no se conoce, hasta el momento, que este mineral haya sido reconocido en algún otro documento de alcance internacional (25-28).

Otro aspecto que es citado en la bibliografía, es la posibilidad que poseen los basaltos de aportar álcalis al hormigón, particularmente, cuando se emplean como agregado fino, debido a su elevada proporción de feldespatos y a la presencia de arcillas del grupo de las esmectitas (3, 19). Sin embargo, estudios realizados por Milanesi y colaboradores (2), en hormigones elaborados con agregados gruesos basálticos de la zona de Corrientes, han permitido inferir que este aporte de álcalis al hormigón, al menos en este caso, puede ser considerado despreciable.

MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYO

La muestra de basalto examinada fue extraída de los acopios de una cantera en explotación, ubicada en la localidad de Curuzú Cuatiá, provincia de Corrientes. Sobre esta muestra se realizaron los siguientes estudios:

- ✓ **Examen petrográfico.** La composición mineralógica del agregado fue investigada siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1649. Para ello, se enviaron muestras gemelas a dos laboratorios geológicos, de reconocido prestigio, tanto a nivel nacional como internacional, donde las muestras fueron evaluadas mediante la observación de cortes delgados (microscopía óptica), complementada mediante difracción de rayos X (DRX).



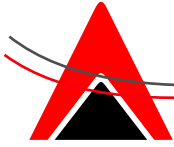
- ✓ **Método del ácido fosfórico.** Se trata de una técnica de ensayo complementaria, propuesta recientemente por el grupo RILEM (27), para evaluar la presencia de sílice cristalina (cuarzo, tridimita y cristobalita) dentro del agregado. Consiste, básicamente, en extraer la sílice de la roca, luego de disolver el resto de sus minerales constituyentes (silicatos, carbonatos y óxidos), mediante un ataque con ácido fosfórico, y analizar el residuo insoluble mediante DRX. Si bien esta metodología ha sido empleada con éxito en basaltos de diverso origen (4, 5, 29), aún no ha sido implementada en Argentina, razón por la cual, el ensayo fue realizado en el Japón (Kawasaki Geological Engineering Co. Ltd.), por el Ing. Tetsuya Katayama.
- ✓ **Sílice soluble.** Siguiendo la propuesta de Maiza y colaboradores (20, 30, 31), se determinó la cantidad de sílice soluble del agregado mediante la aplicación del método ASTM C 289, sin valorar la reducción de la alcalinidad.
- ✓ **Ensayo acelerado de expansión de barras de mortero (NBRI).** Este método se realizó siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1674.
- ✓ **Ensayo de expansión del prisma de hormigón.** Este método fue empleado para evaluar la reactividad alcalina del basalto, empleado como agregado grueso, junto con una muestra de arena silícea (Entre Ríos), siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1700. Esta combinación de agregados resulta de interés por cuanto constituye una de las combinaciones propuestas para el hormigón destinado a la construcción de la ruta nacional N° 14.
- ✓ **Ensayo de etilen-glicol.** Se evaluó la pérdida en peso del basalto, luego de 30 días de inmersión en etilen-glicol, aplicando la norma IRAM 1519.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La reactividad alcalina del basalto, desde el punto de vista petrográfico, mostró importantes contradicciones. Si bien hubo coincidencia entre los laboratorios participantes con relación a la descripción de los caracteres esenciales de la roca (textura y componentes principales), hubo diferencias significativas en los minerales potencialmente reactivos identificados, resultando así discordante su clasificación frente a la RAS (tabla 1).

Por el contrario, los estudios realizados en mortero y hormigón confirmaron la reactividad alcalina deletérea de este basalto (tabla 2), lo cual, resulta coherente con el comportamiento de este agregado en servicio (2).

De este modo, y con el fin de aclarar las discrepancias surgidas en el examen petrográfico, se realizaron algunas evaluaciones complementarias mediante DRX, tanto en la muestra de basalto investigada, como en trozos de agregados basálticos extraídos de un pavimento de hormigón con manifestaciones de RAS (2). En base a estos estudios, se concluyó que la reflexión en $4,05 \text{ \AA}$ (en la que se superponen las reflexiones de algunos feldespatos con la reflexión principal de la cristobalita), en ocasiones, mostraba una intensidad mayor a la esperada.



Por ello, se decidió analizar la composición mineralógica del residuo insoluble del basalto, en ácido fosfórico, lo cual, permitió identificar la presencia de cristobalita (1,4 %) y tridimita (1,3 %), en cantidades superiores a los límites perjudiciales. Esta es la primera vez, en el conocimiento del autor, que se cita la presencia de estos minerales reactivos en los basaltos tholeiíticos de la mesopotamia.

Tabla 1. Resultados del examen petrográfico del basalto

Laboratorio	Minerales potencialmente reactivos ⁽¹⁾			Reactividad ⁽²⁾
	V	E	S	
I	Muy escaso y desvitrificado (Pa)	-	-	NR
II	Cantidades variables (fresco y alterado)	Sa y Mo	Sí	PR

1) V: Vidrio volcánico; E: Esmectita; S: Sílice criptocristalina, Pa: Palagonita; Sa: Saponita; Mo: Montmorillonita; 2) NR: No reactiva; PR: Potencialmente reactiva

Tabla 2. Resultados de los ensayos físicos y químicos

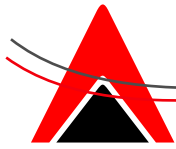
Ensayo	Resultado	Límites ⁽¹⁾
Expansión del mortero, 16 días (IRAM 1674)	0,527 %	0,100
Expansión del hormigón, 52 semanas (IRAM 1700) ⁽²⁾	0,047 %	0,040
Perdida en peso del basalto, 30 días (IRAM 1519)	0,5 %	10
Sílice soluble (ASTM C 289)	38 mg/L	-

1) Según normas IRAM 1512 y IRAM 1531; 2) Para la elaboración del hormigón se empleó una arena sílicea de la provincia de Entre Ríos (expansión a 16 días, IRAM 1674 = 0,189 %)

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presencia de cristobalita y tridimita en los basaltos, como resultado del proceso de desvitrificación del vidrio volcánico, ha sido reconocida por diversos autores (29, 32, 33) y citada en documentos de referencia internacional (26, 27). Si la acidez del vidrio es suficiente (índice de refracción < 1,57) (28), el proceso de desvitrificación no sólo conduce a la formación de esmectita sino también a la precipitación de estos minerales de sílice potencialmente reactivos, en forma micro o criptocristalina, dando lugar a la asociación esmectita-cristobalita-tridimita. En este proceso, la tridimita aparece como resultado de la recristalización de la cristobalita.

El hecho que la detección de esta sílice reactiva (cristobalita y tridimita) en el basalto de Curuzú Cuatía haya sido posible, sólo a través del análisis de una muestra concentrada (método del ácido fosfórico), indica que el tamaño de sus cristales es muy pequeño (< 4 µm) y confirma lo expuesto precedentemente.



Afortunadamente, la detección de esta sílice reactiva en estos basaltos, abre nuevas perspectivas a la hora de interpretar su reactividad alcalina, a la vez que permite explicar algunos resultados contradictorios extraídos de la literatura.

En la figura 1, se representan datos extraídos de la bibliografía (20), que muestran la correlación obtenida entre la sílice soluble (ASTM C 289) y la expansión del mortero NBRI, sobre 12 muestras de basaltos de distintas zonas del país.

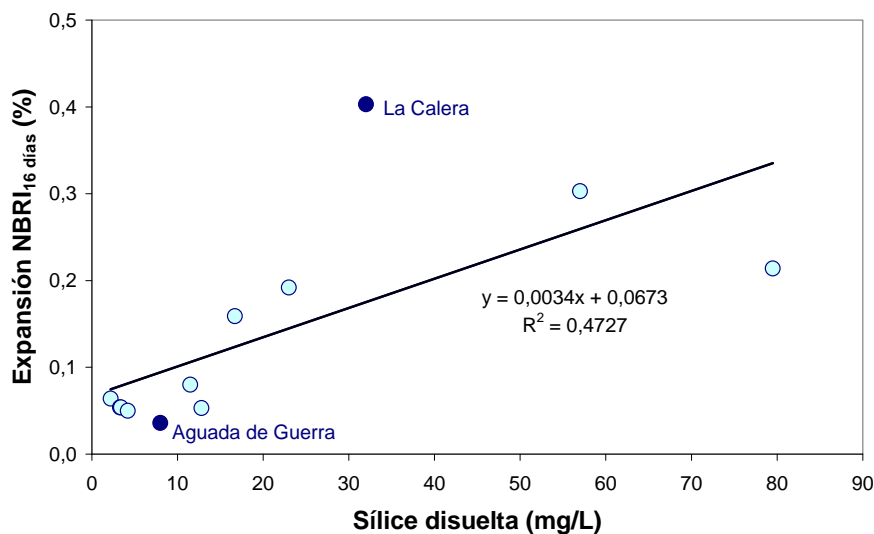
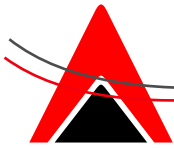


Fig. 1. Sílice soluble vs. Expansión NBRI (adaptada de la referencia 20)

Si bien existe una correlación directa entre ambas variables, el grado de correlación alcanzado es bajo, debido, particularmente, a la influencia de la muestra de La Calera. A pesar de que este basalto no contiene esmectita y su contenido de vidrio volcánico es bajo, éste presenta un “marcado proceso de desvitrificación”. Esto último, constituiría un indicio acerca de la posible existencia de cristobalita y/o tridimita en esta roca, lo cual, permitiría explicar su elevada expansión en el mortero.

Otro caso singular, aunque opuesto, es el del basalto de Aguada de Guerra. En este caso, si bien el examen petrográfico permitió identificar en la roca zonas silicificadas, con algo de montmorillonita y pequeñas cantidades de vidrio volcánico, “muy fresco”, la expansión obtenida en el mortero fue mínima (0,036 %). En otras palabras, a pesar de la presencia de montmorillonita, al no haber alteración en el vidrio volcánico, no hay cristobalita ni tridimita. Si, además, el porcentaje de vidrio es escaso, no hay razón para esperar que la expansión del mortero sea excesiva.



En resumen, desde el punto de vista mineralógico, la expansión del mortero (en el método acelerado NBRI) parecería estar más vinculada con el contenido de vidrio volcánico y su grado de alteración (desvitrificación) que con la presencia de montmorillonita, excepto en el caso que esta última se presente en cantidades excesivas, donde puede resultar nociva frente a cambios en el contenido de humedad. En este sentido, como es posible observar en la tabla 2, el porcentaje de pérdida en peso en etilen-glicol del basalto de Curuzú Cuatiá es absolutamente despreciable, por lo que, en este caso, no cabría esperar fenómenos expansivos deletéreos debido a la presencia de esmectitas.

En 1989, Marfil, como parte de su tesis Doctoral (34), da a conocer resultados obtenidos en ensayos de síntesis, en los que combinó diversos minerales con soluciones alcalinas de distinta concentración y temperatura, a fin de analizar los productos de reacción formados (tabla 3).

Tabla 3. Resultados de los ensayos de síntesis realizados por Marfil (34)

Mineral ⁽¹⁾	Tiempo (días) en solución a 40 °C	
	1 N de NaOH	1 N de KOH
Vidrio volcánico (riolítico)	7 ⁽²⁾	60
Tridimita	20	75
Montmorillonita	120	> 120 ⁽³⁾

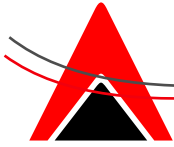
1) Material pulverulento (pasa tamiz N° 200, retiene tamiz N° 230; 2) Luego de 4 meses, a temperatura ambiente, no se observó ninguna alteración en el material original; 3) La experiencia finalizó a los 4 meses sin poder detectar ninguna reacción.

En la tabla 3 se informan los tiempos necesarios para identificar, con claridad, las especies cristalinas sintetizadas (zeolita o chabacita), a partir de la combinación de vidrio volcánico, tridimita y montmorillonita, con una solución de NaOH o KOH, a 40 °C. Si bien, la montmorillonita, bajo las condiciones de estos ensayos, es capaz de reaccionar con el NaOH para formar productos cristalinos semejantes a los de la RAS, su velocidad de reacción es muy lenta y, además, no muestra reacción con el KOH (principal componente alcalino del cemento), lo cual, pone en duda su comportamiento bajo las condiciones reales de la obra en servicio.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en estos estudios y de la información bibliográfica disponible, es posible realizar las siguientes consideraciones:

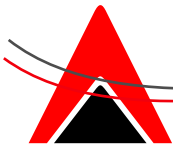
- ✓ Desde el punto de vista petrográfico, la muestra de basalto evaluada (Curuzú Cuatiá) debe considerarse potencialmente reactiva debido a la presencia de cristobalita, tridimita y vidrio volcánico.



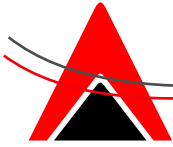
- ✓ La detección de esta sílice reactiva (cristobalita y tridimita), al hallarse presente en forma criptocristalina, es muy difícil con los métodos tradicionales (cortes delgados). Esto permite explicar el origen de las discrepancias halladas acerca de la reactividad alcalina de esta roca, desde el punto de vista petrográfico.
- ✓ Como corolario del punto anterior, es recomendable que el examen petrográfico incluya la evaluación del residuo insoluble de la roca, en ácido fosfórico, siguiendo la metodología propuesta por RILEM. Dentro de esta línea, sería muy valioso que nuestros laboratorios pudieran implementar esta metodología y ponerla a punto, a fin de sugerir su inclusión dentro de la norma IRAM 1649.
- ✓ La identificación de esmectita en estos basaltos, como parte del proceso de desvitrificación del vidrio volcánico, sugiere la presencia de otras variedades de sílice reactiva asociadas (cristobalita y tridimita) y, como tal, constituye una alerta para el geólogo. Sin embargo, su presencia, no necesariamente guarda relación directa con el grado de reactividad de la roca.
- ✓ Lo expuesto en el punto anterior, exige una reconsideración acerca del verdadero papel de las esmectitas en la RAS, por lo que se considera prudente eliminarla del listado de minerales potencialmente reactivos, siguiendo los lineamientos del grupo RILEM, del cual, nuestro país forma parte.
- ✓ El resultado de expansión obtenido con el método del prisma de hormigón (IRAM 1700) permite considerar al basalto como moderadamente reactivo. Este resultado, no sólo es coherente con los resultados del examen petrográfico, sino también con la respuesta del agregado en servicio.
- ✓ Si bien, el resultado de expansión obtenido con el método NBRI (IRAM 1674) también confirma la reactividad del basalto, el nivel de expansión del mortero no parece guardar relación con el comportamiento del mismo agregado en el hormigón. Lo dicho, puede estar vinculado a la necesidad de triturar el agregado y exponer al ataque alcalino una mayor superficie de la roca, cosa que no ocurre al emplear el basalto como agregado grueso.
- ✓ El porcentaje de pérdida en peso en etilen-glicol del basalto de Curuzú Cuatía es absolutamente despreciable, por lo que, en este caso, no cabría esperar fenómenos expansivos deletéreos, por cambios de humedad, debido a la presencia de esmectitas.
- ✓ El valor de sílice soluble aportado por el basalto, según el método ASTM C 289, supera el límite recomendado por la bibliografía para ubicar a este agregado como potencialmente reactivo.

REFERENCIAS

- 1) Violini D., Pappalardi M., "Consideraciones sobre el uso del canto rodado en la ruta 14", Jornada Técnica de Pavimentos de Hormigón, CTI-ICPA, Informe CASA (2007)
- 2) Milanese C. A., Souza E., Marfil S., Maiza P. J., "Estudio de las Manifestaciones de RAS Detectadas en el Pavimento de Hormigón de la Ruta Nacional N° 127 y su Relación con el Deterioro de la Obra", Memorias, 17ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), Córdoba (2008), 8 pp.



- 3) Shayan A., "Alkali-Aggregate Reaction and Basalt Aggregates", Proc., 12th Int. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), Beijing (China), Tang M. and Deng M. Eds., Vol. II (1992), pp. 1130-1135
- 4) Katayama T., St John D. A., Futagawa T., "The Petrographic Comparison of Some Volcanic Rocks from Japan and New Zealand – Potential Reactivity Related to Interstitial Glass and Silica Minerals", Proc., 8th ICAAR, Kyoto (Japan), K. Okada et. al. Eds. (1989), pp. 537-542
- 5) Katayama T., Helgason T. S., Olafsson H., "Petrography and Alkali-Reactivity of Some Volcanic Aggregates from Iceland", Proc., 10th ICAAR, Melbourne (Australia), A. Shayan Ed. (1996), pp. 377-384
- 6) CEN, Regional Specifications and Recommendations for the Avoidance of Damaging Alkali-Silica Reactions in Concrete, CEN Report, CR 1901 (1995), 63 pp.
- 7) Teruggi M., "Los Basaltos Tholeiíticos de Misiones", Notas del Museo, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, Tomo XVIII, Geología, N° 70, La Plata (1955), pp. 259-278
- 8) Ponce de De Maio M. B., Mangin N., "Aplicabilidad del Método Acelerado (NBRI) de Reactividad Alcalina en Agregados Basálticos", Memorias, 9^a Reunión Técnica, AATH, Buenos Aires, Tomo I (1989), pp. 165-173
- 9) Iñiguez A. M., "Los Minerales Secundarios y su Influencia en el Comportamiento Geotécnico de los Basaltos del Río Uruguay – Área de Garruchos Garabí (Prov. de Corrientes), República Argentina", Obra del Centenario del Museo de La Plata, Tomo IV (xxxx), pp. 137-151
- 10) Rimoldi H. V., Roellig F. R., Sesana F. L., "Sobre la Inestabilidad de los Basaltos de Ayuí, Dique Salto Grande", Memorias, II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Tomo VI, Buenos Aires (1975), pp. 73-94
- 11) Higgs, N. B. "Slaking Basalts", Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. XIII, No. 2 (1976), pp. 151-162
- 12) Giovambattista A., Batic O. R., Traversa L. P., "Durabilidad de Hormigones de Cemento Portland", Revista Hormigón, N° 5 (1981), pp. 5-20
- 13) Giovambattista A., Traversa L., "Durability of Basaltic Aggregates Contaminated with Montmorillonite", Proc., K. & B. Mather Int. Conf. on Concr. Durability, USA (1986), pp. 1285-1295
- 14) Traversa L., Giovambattista A., Cortelezzi C., Pavlicevic R., "Evaluación de Basaltos Contaminados con Arcillas Expansivas", Memorias, 12^a Reunión Técnica, AATH, La Plata (1995), pp. 31-39
- 15) Giovambattista A., "El Proyecto de Salto Grande - Estudios Tecnológicos y Criterios de Diseño de sus Hormigones", Memorias, 3^a Reunión Técnica, AATH, Entre Ríos, Tomo I, 1-1-A (1977), 43 pp.
- 16) Giovambattista A., Batic O. R., Traversa L. P., "Reacción Álcali-Sílice – Implicancias Tecnológicas, Ecológicas y Económicas en la Optimización de las Soluciones Ingenieriles", Memorias, 7^a Reunión Técnica, AATH, Tomo II, Buenos Aires (1985), pp. 453-462
- 17) Wainsztein M., Barranquero H., Muñoz L., "Investigación y Caracterización de los Áridos Empleados en las Estructuras de Hormigón de Yacyretá", Memorias, 9^a Reunión Técnica, AATH, Buenos Aires, Tomo I (1989), pp. 287-300
- 18) Batic O. R., Sota J. D., Maiza P. J., "Montmorillonite Included in Aggregates - Principal Factor of ASR", Proc., 9th ICAAR, UK (London), Vol. 1 (1992), pp. 53-60
- 19) Batic O. R., Maiza P. J., Sota J. D., "Estudio de la Reacción Álcali-Sílice de Rocas Basálticas Aplicando el Método NBRI", Revista Hormigón, N° 28 (1995), pp. 11-20
- 20) Maiza P. J., Marfil S., Batic O. R., Sota J. D., "Estudio Comparativo de Rocas Basálticas Frente a la RAS", Memorias, 12^a Reunión Técnica, AATH, La Plata (1995), pp. 127-140
- 21) Shayan A., Morris H., "Alkali-Aggregate Reaction in the Roads and Traffic Authority Bridges, NSW, Australia", Proc., Int. Congr. on Concr. Durability, ACI SP 170-31 (1997), pp. 597-615
- 22) Mather B., A discussion of the paper "Deteriorated Pavements Due to Alkali-Silica Reaction: A Petrographic Study of Three Cases in Argentina" by Marfil S. A., and Maiza P. J., Cement and Concrete Research, Vol. 32 (2002), p. 1003
- 23) IRAM 1512, Agregado Fino para Hormigón de Cemento, IRAM (2006), 16 pp.
- 24) IRAM 1531, Agregado Grueso para Hormigón de Cemento, IRAM (2006), 20 pp.
- 25) Portland Cement Association, Guide Specification for Concrete Subject to Alkali-Silica Reactions, Concrete Technology, PCA R&D, Serial No. 2001b (2007), 8 pp.
- 26) ACI 201.2R-01, Guide to Durable Concrete, ACI Manual of Concrete Practice (2008), 41 pp.



- 27) Sims I., Nixon P., "RILEM Recommended Test Method AAR-1: Detection of Potential Alkali-Reactivity of Aggregates - Petrographic Method", *Materials and Structures*, Vol. 36 (2003), pp. 480-496
- 28) ACI 221.1R-98, Report on Alkali-Aggregate Reactivity, *ACI Manual of Concrete Practice* (2008), 31 pp.
- 29) Katayama T., Kaneshige Y., "Diagenetic Changes in Potential Alkali-Aggregate Reactivity of Volcanic Rocks in Japan – A Geological Interpretation", *Proc., 7th Int. Conf. on AAR*, Ottawa (Canada), P. E. Grattan-Bellew Ed. (1986), pp. 489-495
- 30) Maiza P. J., Marfil S. A., Bengochea A. L., Sota J. D., Batic O. R., "Relationships Between SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O, and Expansion in the Determination of the Alkali Reactivity of Basaltic Rocks", *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 2 (1998), pp. 189-196
- 31) Maiza P. J., Batic O. R., Grecco L. E., Marfil S. A., Sota J. D., "Rocas Volcánicas de la Patagonia - Su Comportamiento Frente a la RAS", *Memorias, 16^a Reunión Técnica, AATH*, Editor J. Sota, Mendoza (2006), pp. 233-240
- 32) Marfil S. A., Maiza P. J., "Características Petrográfico-Mineralógicas de la Alteración de Basaltos de la Meseta de Somuncurá, Prov. de Río Negro", *Actas, III Reunión de Mineralogía y Metalogenia, Instituto Nacional de Recursos Minerales, UNLP, N° 5* (1996), pp. 287-293
- 33) Y. Wakizaka, "Alkali-Silica Reactivity of Japanese Rocks", *Engineering Geology*, Vol. 56, pp. 211-221, 2000
- 34) Marfil S., "La Reacción Álcali-Agregado – Investigación de la Reactividad Potencial de los Agregados con los Álcalis del Cemento Utilizados en Bahía Blanca y su Zona de Influencia", *Tesis Doctor en Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca* (1989)