

# AGREGADOS PETREOS BASALTICOS

P. J. Maiza<sup>1,2</sup> y S. A. Marfil<sup>1,3</sup>

1. Profesor Dpto. de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca. TE: 0291-4595184.
2. Investigador Principal CONICET. email: pmaiza@uns.edu.ar
3. Investigador Independiente CIC de la Prov. de Bs. As. email: smarfil@uns.edu.ar

Palabras claves: agregados, basaltos, hormigón.

## Resumen

Las rocas volcánicas basálticas trituradas son utilizadas como agregado grueso (piedra partida) en hormigones. Son numerosas las canteras en explotación y los afloramientos en distintas regiones de la Argentina consideradas como importantes reservas de materiales pétreos. Se han dividido en dos grandes grupos: subsaturados u olivínicos de edad cenozoica o más jóvenes, aflorantes en la Patagonia, sur de Mendoza, San Luis y Córdoba y los saturados con variadas alteraciones, más antiguos (Mesozoico), ubicados en la Mesopotamia. Entre los primeros se han determinado desde yacimientos aptos para ser utilizados en hormigones hasta muy reactivos, con cantidades importantes de vidrio volcánico, silicificados, argilizados y alterados con intensidad variable. Los estudios petrográficos de detalle, complementados con estudios mineralógicos específicos y ensayos físicos y químicos permiten calificar y definir la aptitud de los distintos tipos de rocas y particularmente de los basaltos.

## 1. Introducción

Antes de utilizar rocas basálticas como agregados en hormigón debe realizarse un estudio petrográfico – mineralógico de detalle con microscopía de polarización sobre secciones delgadas. Debe ponerse especial cuidado en determinar la presencia de vidrio volcánico en la pasta, ya sea fresco o alterado a minerales arcillosos, y de variedades de sílice criptocristalina tales como tridimita o cristobalita.

Estos materiales lixivian sílice en el medio alcalino del hormigón y reaccionan con los álcalis que provienen principalmente del cemento dando como resultado el desarrollo de procesos deletéreos tales como la reacción álcali – sílice (RAS).

Los basaltos son rocas volcánicas de grano fino constituidas principalmente por plagioclasas cálcicas, olivino, piroxenos y mena de hierro, con un contenido variable de pasta que puede ser cristalina o vítrea. Las texturas son microcristalinas que gradúan hasta felsíticas, con pastas holocristalinas hasta holohialinas y porfíricas. También existen los basaltos subsaturados, pobres en sílice con importantes cantidades de elementos alcalinos, especialmente potasio. En estas variedades de basaltos, las plagioclasas son sódicas, pudiendo llegar a cristalizar oligoclasa, se asocian pequeñas cantidades de sanidina, puede presentarse cuarzo, por lo general a expensas de la alteración masiva de la roca como consecuencia de la meteorización que se intensifica por el tiempo de exposición en el ambiente exógeno.

Sin embargo, ni la textura ni el tamaño de grano son criterios suficientes para distinguirlos siendo válido definirlos por su mineralogía, quimismo, yacimiento y forma de presentarse.

Desde el punto de vista de su reactividad potencial está directamente relacionada con la presencia de vidrio volcánico sea éste inalterado o totalmente argilizado, su porosidad y fracturamiento. Otro factor que influye decisivamente es la edad de la roca ya que las más antiguas están más meteorizadas que las más jóvenes. El vidrio volcánico en general y especialmente el vidrio volcánico basáltico es muy inestable, por lo que al ser expuesto a los agentes meteorizantes rápidamente se desvitrifica argilizándose, dando lugar a la formación de arcillas expansivas (montmorillonita-esmectitas), ceolitas, illita, caolín y sílice libre, la que cristalizará como alguna de las variedades de sílice criptocristalina (tridimita, cristobalita, ópalo y/o cuarzo microgranular).

En Argentina, al igual que en el resto del mundo, las rocas basálticas son las vulcanitas aflorantes más abundantes. Los yacimientos explotados más antiguos son Mesozoicos y se conocen coladas basálticas de gran extensión en la Patagonia, Mendoza, San Luis, Córdoba y otras provincias, en su mayoría Terciarios y más recientes. De los afloramientos mencionados se destaca la Meseta de Somun Curá con un área de más de 30.000 Km<sup>2</sup> extendida entre las provincias de Río Negro y Chubut.

Otra característica importante es la heterogeneidad litológica de los frentes de las coladas. Generalizando puede esquematizarse el siguiente modelo: el piso por lo común genera una estructura vesicular de grano muy fino, con asimilación del sustrato, silicificación por precipitación de sílice criptocristalina a partir de aguas circulantes y litológicamente muy vítrea. En la parte central el tamaño de los cristales es mayor, las texturas son ofíticas u subofíticas, prácticamente no hay vidrio volcánico y la roca es holocristalina. En los niveles superiores de la colada las características litológicas son semejantes a las mencionadas para el sector medio, el desarrollo cristalino es levemente menor, pero los procesos exógenos alteran a las rocas y se desarrolla una textura intersertal por argilización de los minerales originales y el vidrio volcánico.

La diferenciación litológica y textural será más clara a medida que el espesor de la colada aumenta. El enfriamiento de la lava desarrollará taquilita, si el medio receptor es anhidro o palagonita si la cantidad de agua es suficiente. Ambos materiales son muy inestables por lo que rápidamente se argilizarán originando distintos minerales dependiendo del pH del medio.

En trabajos previos [1,2,3,4,5,6,7] se estudiaron distintos afloramientos de rocas basálticas de varias localidades de Argentina determinando la mineralogía, petrología y características geológicas y geomorfológicas de las coladas relevadas. Los materiales obtenidos se ensayaron según métodos convencionales normalizados para evaluar la potencial reactividad frente a los álcalis: método químico (IRAM 1650) [8], barras de mortero (IRAM 1637) [9], método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674)[10] y examen petrográfico (IRAM 1650) [11]. Los resultados obtenidos fueron extremadamente variables, desde agregados inocuos hasta muy deletéreos concluyendo que su comportamiento en el hormigón se debe a la presencia de vidrio volcánico fresco y/o alterado, argilización de la roca y presencia de minerales secundarios, especialmente sílice criptocristalina.

Marfil et al. (1998) [12] determinaron que la sílice disuelta está relacionada en forma directa con la expansión que se manifiesta en las barras de mortero.

En el mundo, el basalto se ha utilizado como piedra partida en la construcción de importantes obras ingenieriles y en la Argentina, pueden citarse las represas de Salto Grande, Yacyretá, rutas nacionales y provinciales, aeropuertos y puentes algunas de ellas con casi medio siglo de antigüedad. El grado de deterioro sufrido por las estructuras ha sido variable, en algunos casos se debió aplicar mantenimiento y remediaciones importantes y en otros el reemplazo parcial del hormigón.

Se ha mencionado que algunas de estas rocas pueden comportarse como muy reactivas con cemento portland de alto contenido de álcalis cuando son usadas en estructuras de hormigón (Shayan et al. 1988) [13].

En este trabajo se informan los resultados de los estudios realizados en más de cuarenta yacimientos de distintas regiones de Argentina, algunos en explotación, otros considerados como fuentes potenciales de materiales pétreos, y especialmente de aquellos donde el basalto es la única roca disponible para ser usada como agregado.

## 2. Materiales y métodos

Las muestras de basalto obtenidas de los distintos afloramientos y canteras fueron estudiadas al microscopio sobre secciones delgadas. Los componentes mineralógicos primarios y sus productos de alteración se identificaron por difracción de rayos X.

Para determinar la composición mineralógica, texturas, alteraciones, presencia de vidrio volcánico y calificar a las rocas, se utilizó un microscopio de polarización Olympus, trinocular con cámara de video de alta resolución y programas computarizados para tratamiento de imágenes y cuantificaciones. Para determinaciones mineralógicas específicas se usó un difractómetro de rayos X Rigaku D-max III C, con radiación de  $\text{Cu K}\alpha$ , monocromador de grafito con 35 KV y 15 mA sobre muestras naturales y los minerales arcillosos se expandieron con etilen glicol.

## 3. Resultados y discusión

Desde el punto de vista petrográfico si bien todos los basaltos corresponden a variedades calcoalcalinas, se agruparán en basaltos no saturados u olivínicos y saturados o ligeramente sobresaturados desprovistos totalmente de olivino y con alguna cantidad de feldespatos alcalinos.

Dentro de los basaltos no saturados se incluyen los ubicados en el ámbito patagónico cuyos principales afloramientos estudiados son: Aguada Cecilio, Paja Alta, Teniente Maza, El Cuy, Ing. Jacobacci, Comallo, Aguada de Guerra, Praguaniyeu, Las Mochas, Cerro Medina, Pillahuicó, Bajada del Salado, en la Prov. de Río Negro, Bajada del Sauce, La Rinconada, Pila de Monedas, en la Prov. de Neuquén, La Pasarela en el sur de la Prov. de Mendoza, La Garrapata, en la Prov. de San Luis, y Los Cóndores en la Prov. de Córdoba (Fig. 1 a, b y c) . En su composición litológica participan principalmente labradorita y olivino con cantidades subordinadas de piroxenos tipo augita y minerales opacos. Existen variedades totalmente cristalinas como los basaltos de Bajada del Sauce, compuestas por tablillas de labradorita con distribución irregular las que encierran en los espacios intercristalinos granos de olivino y piroxenos con hematita subordinada, desarrollando texturas intergranulares. El otro extremo lo componen los basaltos con

abundante vidrio volcánico, fresco o desvitrificado, generando texturas intersertales, donde los minerales arcillosos reemplazan tanto al vidrio como a las pastas de las rocas. Dentro de las arcillas es común la illita en los feldespatos y en los sectores máficos, son muy abundantes la montmorillonita, clorita y celadonita, determinadas por difracción de rayos X. En estos sectores siempre aparecen asociadas variedades de sílice criptocristalina. A este tipo pueden relacionarse los basaltos de El Cuy, la base del frente de la colada de Paja Alta y algunos niveles de Pila de Monedas.

Los afloramientos de basaltos saturados o ligeramente subsaturados estudiados son Curuzú Cuatiá (Prov. de Corrientes), Sierra de Santa Victoria, Yaciretá, San Ignacio-Corpus (Prov. de Misiones). Se disponen en forma de coladas de variado espesor, aunque son frecuentes los filones capas y diques. Las rocas están constituidas por andesina-labradorita con pequeñas cantidades de sanidina. El mafito predominante es augita y/o augita titanífera, son raros los relictos de olivino, por lo general reemplazados pseudomórficamente por minerales secundarios. Es abundante la hematita con magnetita subordinada a los que se asocian clorita y goetita formadas por hidrólisis a expensas de los minerales primarios.

En los espacios intercristalinos aparecen cantidades variables de minerales de alteración generados a partir de la desvitrificación de las pastas. Las texturas varían desde integranulares a intersertales, comúnmente obliteradas o enmascaradas por el desarrollo de una argilización generalizada (Fig. 1 d, e y f).

Desde el punto de vista petrográfico los basaltos saturados analizados presentan texturas, estructuras y mineralogía heterogénea. Algunos de ellos, que se caracterizan por sus texturas microcristalinas, compactas y con escasas alteraciones se comportan como materiales inocuos y constituyen agregados aptos para ser usados en hormigones, desde el punto de vista petrográfico. Los ensayos de barra de mortero, sílice soluble y prismas de hormigón coinciden con los resultados mencionados. Dentro de este grupo de rocas son comunes las estructuras porosas, a veces rellenas, total o parcialmente por carbonatos y sílice, procesos de argilización de intensidad variable, pastas total o parcialmente vítreas con vidrio volcánico fresco o alterado por lo que la calificación los define como reactivos o deletéreos. Los resultados de los ensayos físicos en la mayoría de los casos son coherentes con esta calificación.

Todos los basaltos subsaturados calificados como toleíticos, contienen cantidades variables de minerales arcillosos, por lo común, expansivos, sílice criptocristalina producida a partir de la desvitrificación de las pastas o de la hidrólisis de los minerales primarios. Estos procesos cambian la compacidad de la roca, aumentan la porosidad, tornando más activa la acción de los agentes exógenos. La cristalización de montmorillonita cumple una doble función, por un lado su elevada capacidad de intercambio catiónico con el consiguiente cambio de volumen y, por otro, este mismo provocado por el humedecimiento y secado genera fisuramiento, aumento de permeabilidad favoreciendo notablemente la lixiviación.

El proceso de argilización especialmente del vidrio volcánico y en un medio alcalino formará minerales con celdas de gran volumen, montmorillonita, clorita, illita, ceolitas, entre los más comunes y dejará una cantidad de sílice libre, criptocristalina o amorfa ya que los cationes disponibles en el medio no alcanzan para neutralizarla. Esta sílice contribuirá en el desarrollo de la RAS.

Todos los basaltos toleíticos analizados y calificados por el método petrográfico como potencialmente reactivos y/o deletéreos frente a la RAS obtuvieron el mismo resultado al ser ensayados por los métodos físicos convencionales. Otro aspecto

importante es el deterioro que sufren estas rocas al estar expuestas al intemperismo. En su mineralogía participan minerales formados en ambiente de alta temperatura y presión, reductor, y a profundidad dentro de la corteza terrestre. Al aflorar en la superficie las condiciones fisicoquímicas son totalmente distintas debiendo adaptarse a estas nuevas condiciones en un corto tiempo. El más vulnerable de los componentes es el vidrio volcánico ya que es metaestable, contiene todos los elementos químicos de la roca por lo que su argilización es rápidamente desarrollada. Si este vidrio volcánico está en contacto con el medio acuoso del hormigón, altamente agresivo, con un pH elevado, y mientras se mantengan estas condiciones, el medio será muy favorable para que se formen arcillas expansivas, contribuyendo al deterioro de la estructura.

Maiza et al. (2006) [14], analizaron un triturado de basalto toleítico luego de un año de su procesamiento. Observaron un aumento significativo de arcillas en el sector externo de la partícula, importantes modificaciones texturales superficiales y cambios físicos. Propusieron una metodología que permite visualizar dichas modificaciones con técnicas de tinción y cuantificarlas.

El envejecimiento del material basáltico de trituración degrada rápidamente a la roca en forma progresiva, desde la superficie hacia el interior de la partícula llegando a inutilizar al material obligando a su descarte.

#### 4. Conclusiones

1. El basalto triturado, usado como piedra partida, constituye un material apto para ser usado en hormigones.
2. Debido a la gran variedad de texturas, composición mineralógica y alteraciones deben ser estudiadas con detalle y ensayadas convenientemente.
3. El estudio petrográfico permitirá determinar, además de la mineralogía y textura de la roca, la presencia de especies cristalinas y amorfas y los minerales de alteración que la componen. Constituye el análisis básico fundamental para diagnosticar el comportamiento de la mayoría de las rocas y particularmente las rocas basálticas. Permite calificarlas en forma casi inmediata y determinar su aptitud para usarlas como agregado de trituración.
4. Debido a la heterogeneidad de los yacimientos estudiados es importante el relevamiento de los sectores de explotación para determinar las variaciones litológicas, texturales y estructurales, ya que deben definirse zonas con vidrio volcánico, con vesicularidad a veces crustificadas por sílice y argilizadas (base de la colada basáltica), sectores compactos y masivos (núcleo de la colada) y los sectores expuestos al medio ambiente, alterados y lixiviados. Para que el material mantenga homogeneidad y conserve las características mínimas de utilización, es necesario conocer las variaciones del banco a ser minado y desarrollar una explotación racional del mismo.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen al Dpto. de Geología de la UNS, al CONICET y a la CIC de la Prov. de Bs. As. por el apoyo brindado y al Sr. Rodolfo Salomón por la colaboración en la compaginación de las fotomicrografías.

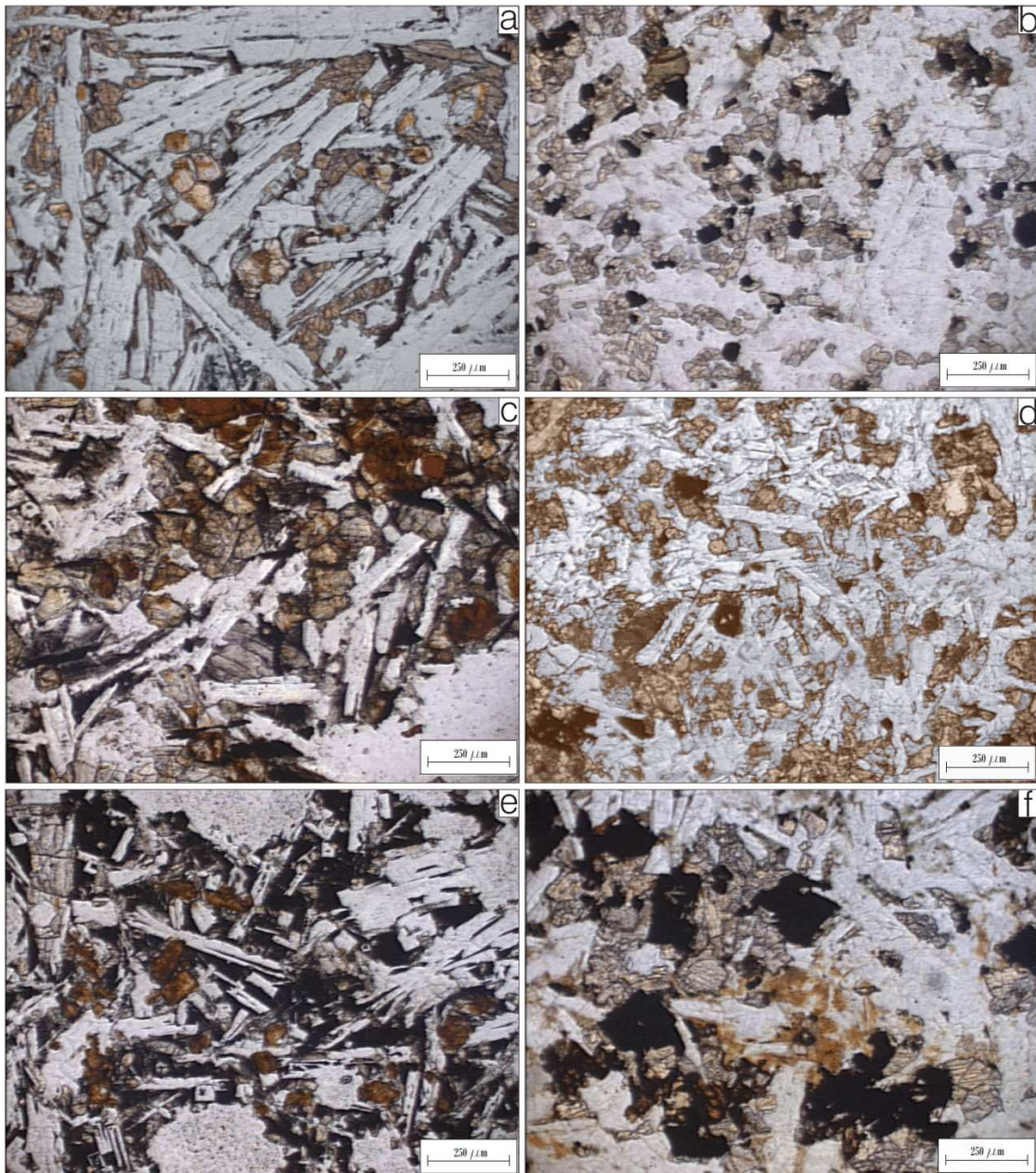


Figura 1. a, b y c: Basaltos no saturados constituidos por labradorita y olivino con cantidades subordinadas de piroxenos y minerales opacos. d, e y f: Basaltos saturados, constituidos por andesina y piroxenos. Presentan pastas vítreas frescas y alteradas a minerales arcillosos

## Referencias

- [1] P. J. Maiza, S. A. Marfil, O. R. Batic, J. D. Sota. Estudio comparativo de rocas basálticas frente a la RAS. XII Reunión de la AATH. Memorias. La Plata. 127 – 140, 1995.
- [2] P. J. Maiza, S. A. Marfil. Comportamiento de rocas basálticas en hormigón, frente a la reacción álcali-sílice. II Congreso Uruguayo de Geología. Actas. 134-137. Punta del Este. Uruguay, 1998.
- [3] S. A. Marfil, P. J. Maiza. Características petrográfico-mineralógicas de la alteración de basaltos de la Meseta de Somón Curá, Prov. de Río Negro. III Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Public. N° 5. INREMI. Actas, 1996.
- [4] P. J. Maiza, S. A. Marfil, A. L. Bengochea, O. R. Batic, J. D. Sota. Aplicación de un modelo estadístico para evaluar la reactividad alcalina potencial en rocas basálticas. V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Vol. 1. 135-143. Mar del Plata, 1998
- [5] S. A. Marfil S. A., P. J. Maiza. Basaltic rocks: their use as concrete aggregates. Aggregate 2001 – Environment and Economy. Ed. P. Väisanen & R Uusinoka. Finland. Vol 1. ISBN 952-15-0636-9. ISSN 1238-075X. 203-206, 2001.
- [6] P. J. Maiza, S. A. Marfil. Agregados pétreos: Basaltos y Riolitas. Sinergia 2004. XVII Congreso argentino. de mecánica de suelos e ingeniería geotécnica. III Cong. argentino de presas y aprovechamientos hidroeléctricos. VII Simposio de geología aplicada a la ingeniería y al medio ambiente. III Simposio argentino de mecánica de rocas. V Reunión sobre preparación y uso de mapas temáticos. Córdoba. Editado en CD. 8 Pag., 2004.
- [7] P. J. Maiza, O. R. Batic, L. E. Grecco, S. A. Marfil, J. D. Sota Rocas volcánicas de la Patagonia. Su comportamiento frente a la RAS. 16° Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH) Actas. Mendoza. 233-240, 2006.
- [8] IRAM 1650. Reactividad alcalina potencial en áridos. Método de ensayo químico, 1968.
- [9] IRAM 1637. Reacción álcali-árido. Método de la barra de mortero para la determinación de la reactividad alcalina potencial, 1968.
- [10] IRAM 1674. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero, 1968.
- [11] IRAM 1649. Reactividad alcalina potencial en áridos. Examen petrográfico, 1968.
- [12] S. A. Marfil, P. J. Maiza, A. L. Bengochea, J. D. Sota, O. R. Batic. Relationship between  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and expansion in the determination of the alkali reactivity of basaltic rocks. Cement and Concrete Research. USA. Vol. 28. N° 2, 189-196, 1998.
- [13] A. Shayan, G. W. Quick. An alkali – reactive basalt from Queensland, Australia. International Journal of Cement Composites and lightweight Concrete. V. 10, N° 4, 209-214, 1988.
- [14] P. J. Maiza, R. C. Salomón, S. A. Marfil. Determinación de montmorillonita en rocas basálticas. Simposio Internacional FIB (Federación Internacional del Hormigón) “El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo”. Memorias. Vol.1. La Plata. 233-240, 2005.