

---

## Paragénesis y alteraciones en basaltos usados en hormigones para grandes obras

F. A. Avid<sup>1a</sup>, J.M. Cosentino<sup>1b</sup>, G. Do Santos<sup>2</sup>, J.D. Sota<sup>1c</sup>

1: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia. GIICMA.

<sup>a</sup> [academica@frcon.utn.edu.ar](mailto:academica@frcon.utn.edu.ar), <sup>b</sup> [josecosentino@gmail.com](mailto:josecosentino@gmail.com), <sup>c</sup> [jdsota@frcon.utn.edu.ar](mailto:jdsota@frcon.utn.edu.ar)

2: LEMIT, La Plata. [gabys\\_geol7@yahoo.com.ar](mailto:gabys_geol7@yahoo.com.ar)

### RESUMEN

Los grandes espesores de rocas basálticas en la Mesopotamia Argentina y sus características los hacen adecuados para ser utilizados como agregados triturados en las obras civiles. De hecho varias obras han sido desarrolladas en la zona, entre ellas grandes represas utilizando ese material como agregado en el hormigón de cemento portland. Estudios anteriores utilizando la Especificación ASTM C 1260 (IRAM 1674), calificaban estas rocas para su uso en hormigones como muy reactivas. Es necesario hacer mención a lo severo del método y a las características particulares de estas rocas en su composición petrográfica. En este trabajo se estudiaron canteras en explotación en las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones, se analizan los resultados obtenidos de la Especificación ASTM C 1260 y los estudios petrográficos, a la vez que se complementan con observaciones de microscopio óptico con cortes delgados y de ESEM. Los resultados indican en primera instancia que la expansión medida con el método ASTM no debe ser atribuible de manera única a la reacción álcali sílice.

PALABRAS CLAVE: Basaltos, RAS, Durabilidad, Hormigones

### ABSTRACT

The thick layers of basaltic rocks in Mesopotamia Argentina and its characteristics make them suitable for use as crushed aggregate in civil works. In fact, several works have been developed in the area, including large dams using that material as aggregate in portland cement concrete. Previous studies using the method ASTM C 1260 (IRAM 1674), these rocks qualified for use in concrete as very reactive. It is necessary to mention the severity of the method and the particular characteristics of these rocks in their petrographic composition. In this work we studied quarries operating in the provinces of Entre Rios, Corrientes and Misiones, discusses the results of ASTM C 1260 and petrographic studies, while observations are complemented by optical microscopy and thin sections ESEM. The results indicate that in the first instance with the expansion as ASTM method should not be attributed uniquely to alkali silica reaction.

Keywords: basalt, RAS, Durability, Concrete

Autor de contacto: J. D. Sota

Paragénesis y alteraciones en basaltos usados en hormigones para grandes obras

## 1. INTRODUCCION

Las erupciones volcánicas contemporáneas con la fragmentación del supercontinente Gondwana dieron origen a una acumulación lávica con un espesor total original de aproximadamente 1700 metros. La potencia de las coladas individuales varía desde aproximadamente 1m hasta más de 70 metros [1]. El contacto entre las coladas está la mayoría de las veces, señalado por una brecha con fragmentos de basalto y cuarcita, engarzados en una matriz vítrea con cantidades variables de arena.

La notable extensión areal de las coladas, verificada en estudios de correlación geológica para varios proyectos hidroeléctricos indica la baja viscosidad de los flujos basálticos. La observación detallada de las coladas individuales, en especial aquellas con varias decenas de metros de potencia, permite advertir una zonación vertical, tanto textural como composicional. Dicha zonación significa a la vez una referencia, que determina los niveles de explotación en cantera con roca de mejor calidad geotécnica para su utilización como agregado o enrocado.

La reacción álcali-sílice se observa, en el litoral argentino, con frecuencia en hormigones que contienen agregados de canto rodado en su constitución. También hay algunas manifestaciones en hormigones con roca basáltica, aunque estas no son las más comunes. Las grandes obras construidas con basalto como agregado grueso en los hormigones de cemento portland mantienen en servicio un buen comportamiento.[2][3]

En el último tiempo y en razón de encarar algunas obras viales de importancia se trabajó con basaltos para el hormigón de los pavimentos de la carpeta de rodamiento. Comenzando el cuestionamiento de los mismos a la luz de los resultados obtenidos en los ensayos aplicando la Especificación ASTM C 1260.

Con relación a los agregados basálticos, hay dos parámetros cercanamente vinculados con la RAS que deben ser analizados. El primero de ellos es la heterogeneidad textural y mineralógica, la composición y la paragénesis mineral con referencia al nivel estratigráfico de las coladas. En muchos casos estas características no son identificadas al estudiar los diferentes bancos de canteras. El segundo aspecto que requiere atención es la naturaleza y distribución de los minerales secundarios derivados de la alteración de las paragénesis primarias.

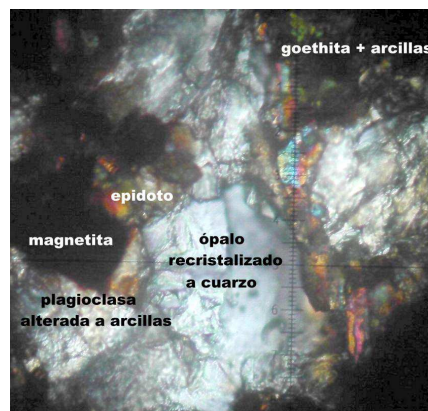
## 2. PARAGENESIS Y ALTERACION DE LOS BASALTOS

La sección superior de cada colada está formada por basalto de color castaño grisáceo a gris claro, de grano fino a muy fino, vesicular y/o amigdaloides con mayor participación de mesostásis vítrea. Estas características texturales son resultado del rápido enfriamiento y descenso de la presión al producirse el derrame en superficie. La parte central de las coladas está constituida por basalto denso, con colores comprendidos entre el gris oscuro a negro. La granulometría es mediana, ocasionalmente gruesa, aunque tiende a ser de grano fino hacia la base.

El mineral más abundante es la plagioclasa (40%-65%) y composición comprendida por lo general, entre An<sub>40</sub> – An<sub>70</sub>. Evidencian poca alteración, y cuando se presenta se localiza en el

borde de los cristales, clivajes y fracturas. La alteración de las plagioclasas es fundamentalmente arcillosa. Los minerales máficos son abundantes con predominio de piroxeno (10%-25%) principalmente en su variedad augita y pigeonita con grados variables de desferrización y cloritización. Con respecto a la olivina, que es el primer mineral máfico en formarse en el curso de la cristalización del magma, su participación puede ocasionalmente superar 15% en la parte masiva de las coladas pero rara vez excede 5% hacia el techo y frente de las mismas.

Es conveniente analizar con mayor detalle la paragénesis del par olivina-piroxeno ya que la misma tiene influencia en el potencial reactivo álcali-sílice de los basaltos mesopotámicos. Estas rocas efusivas, que se clasifican como basaltos tholéíticos, están sobresaturadas con respecto al  $\text{SiO}_2$ . Teóricamente no deberían contener olivina, pues hay suficiente sílice en el magma como para convertirla en piroxeno. En ocasiones, sin embargo, el rápido enfriamiento de la lava interrumpe la reacción y las olivinas originalmente formadas permanecen. En estas circunstancias, el exceso de sílice queda atrapado en el magma residual que pasará, en última instancia, a formar la mesostásis vítrea. Este material intersticial ha sido identificado en los sistemas basálticos como un residuo con afinidades graníticas (composición ácida y contenido de sílice de 60-75%, [4,5,6]). Ello es consistente con la presencia de cuarzo, ópalo, epidoto y en ocasiones feldespato K en los intersticios ubicados entre los minerales primarios (olivina, piroxeno y plagioclasa) producto de la albitización de las plagioclasas y generalmente asociado con óxidos de hierro y titanio, "Fotografía 1". Esta asociación ha sido también citada por Marfil et al [7] para basaltos de la provincia de Entre Ríos.



Fotografía 1: Basalto de Entre Ríos

Los basaltos de la Mesopotamia muestran reactividades medias a elevadas en los ensayos acelerados para evaluar su reactividad alcalina. En comparación, los agregados basálticos de la región patagónica y provincia de Córdoba, tienen respuesta inocua en los mismos ensayos. Estos últimos son del tipo olivínico, debido a la abundancia de este mineral en su composición, y resultan infrasaturados con respecto al  $\text{SiO}_2$ , situación que necesariamente se verá reflejada en la composición del fluido residual.

Paragénesis y alteraciones en basaltos usados en hormigones para grandes obras

Cuando el magma alcanza la superficie bajo la forma de lava, los gases contenidos escapan, aumentando la viscosidad de la mezcla que solidifica rápidamente bajo la forma de vidrio o de agregados criptocristalinos. La consecuencia fisicoquímica de este proceso es un aumento temporal de la temperatura que se suma a la violenta oxidación de los gases. Los conductos de escape gaseoso determinan la formación de estructuras vesiculares hacia el techo de la colada. Cuando estas soluciones químicamente activas producen cambios en la roca circundante, alterando los minerales primarios y dando origen a neominerales, se habla de alteración deutérica. La alteración deutérica es característica en las rocas volcánicas, y constituye otro parámetro a tener en consideración cuando se evalúa el potencial reactivo (RAS) de los agregados basálticos.

Los minerales secundarios producto de la acción deutérica son fundamentalmente esmectitas y zeolitas. En estos mecanismos de alteración, las fases primarias más sensibles a la disolución y reemplazo por minerales arcillosos son las olivinas y la mesostásis vítrea [8].

Ocasionalmente se ha postulado que la alteración arcillosa, fundamentalmente montmorillonítica, es consecuencia del intemperismo. Sin embargo, numerosos estudios de detalle de las características petrográficas y petrológicas de coladas basálticas de la Formación Serra Geral [8] y del Grupo Drakensberg en Sudáfrica [9] indican, en forma inequívoca, su vinculación con eventos de alteración deutérica o reacciones metamórficas de bajo grado durante el enfriamiento de las coladas.

Davisson [10] postuló tres tipos de alteración deutérica: arcillosa, carbonática y zeolítica. Un tipo adicional de acción deutérica está representada por los fluidos mineralizantes que percolan en la roca y la alteran. Los productos derivados constituyen las venillas y el relleno de cavidades vesiculares.

Algunas asociaciones mineralógicas representativas fueron descritas por Iñiguez [11], quien además de montmorillonita cita la presencia de celadonita, nontronita, saponita, cuarzo y calcita, y por Hayase, K [12] que indica la presencia de estilbita y heulandita en los basaltos de Ayuí.

La hidratación del espacio interlaminar es una propiedad característica de las esmectitas y una consecuencia de cargas eléctricas en su superficie. La naturaleza de dichas cargas en el borde de las láminas de arcilla depende del pH del medio. En un ambiente alcalino como el de la solución de OHNa utilizada en el ensayo de la barra de mortero, la superficie de borde adquiere cargas negativas. Estas cargas eléctricas se compensan con la entrada de cationes de carga opuesta en el espacio interlaminar. La elevada concentración de Na<sup>+</sup> en la solución hace que éste sea el principal catión de intercambio.

Dado que las cargas de borde son débiles, el ión sodio puede ser intercambiado por los iones positivos de la molécula de agua. En el proceso de hidratación, las cargas positivas de los átomos de hidrógeno de la molécula de agua se adhieren a la superficie de la esmectita, pudiendo sumarse varias capas sucesivas a la primera, expandiendo su volumen a medida que se agrega más agua. La montmorillonita sódica puede expandirse hasta aproximadamente 15 veces su volumen

Por lo anterior se infiere que con relación a los agregados basálticos, hay dos parámetros cercanamente vinculados con la RAS que deben ser analizados. El primero de ellos es la heterogeneidad textural y mineralógica, la composición y la paragénesis mineral con referencia al nivel estratigráfico de las coladas.

En muchos casos estas características no son identificadas al estudiar los diferentes bancos de canteras. El segundo aspecto que requiere atención es la naturaleza y distribución de los minerales secundarios derivados de la alteración de las paragénesis primarias.

### 3. METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESULTADOS

Se estudiaron cuatro canteras de basalto, una en Entre Ríos (cantera 1), dos en Corrientes (cantera 2 y 3) y una en Misiones (cantera 4). En la cantera de Entre Ríos se estudiaron dos niveles de explotación, en una de Corrientes cuatro niveles de una misma colada y en las dos restantes una de Corrientes y otra de Misiones solo un nivel.

Los estudios petrográficos clasifican a estos basaltos como Basaltos Tholeiíticos.

La reactividad potencial de los agregados basálticos mesopotámicos, se determinó mediante el método acelerado de la barra de mortero, Especificación ASTM C 1260 (IRAM 1674) los resultados obtenidos se muestran en los “Gráficos 1 al 4”.

Las probetas ensayadas muestran a los 14 días expansiones potencialmente deletéreas, superando ampliamente el límite de 0,10 % establecido por la norma. Este comportamiento resulta consistente con resultados similares citados en la bibliografía para los basaltos de la Formación Serra Geral.

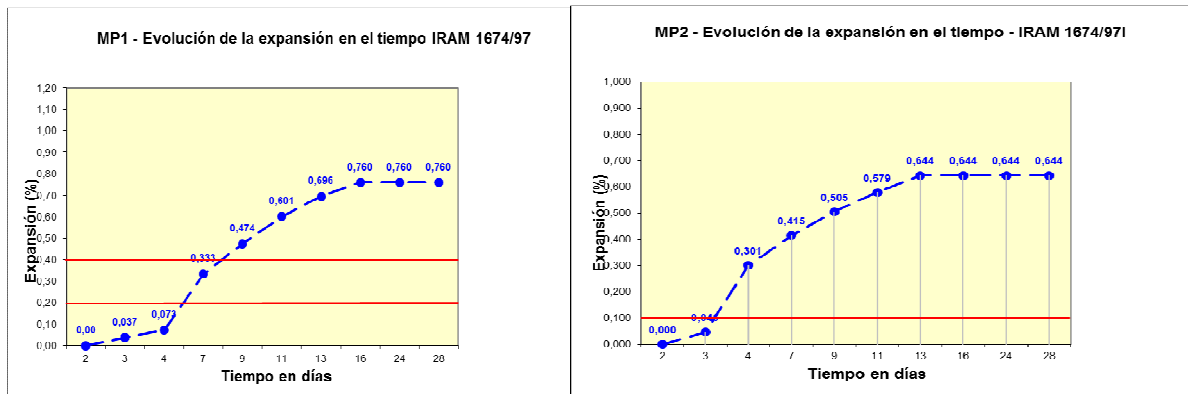


Gráfico 1 – Cantera 1- Entre Ríos

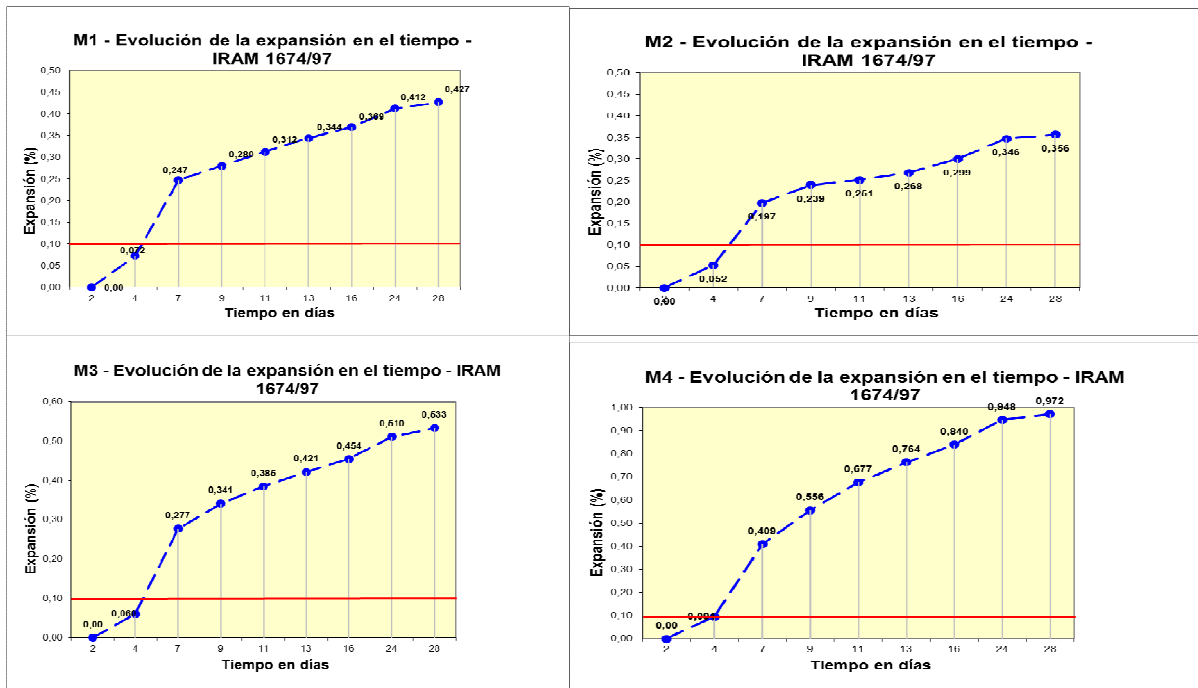


Gráfico 2 - Cantera 2 – Corrientes

Transcurrido el período de inducción, y en correspondencia con la edad de 7 días, se comienzan a observar fisuras longitudinales y transversales en alguno de los elementos prismáticos, las que continúan expandiéndose en el transcurso del ensayo.

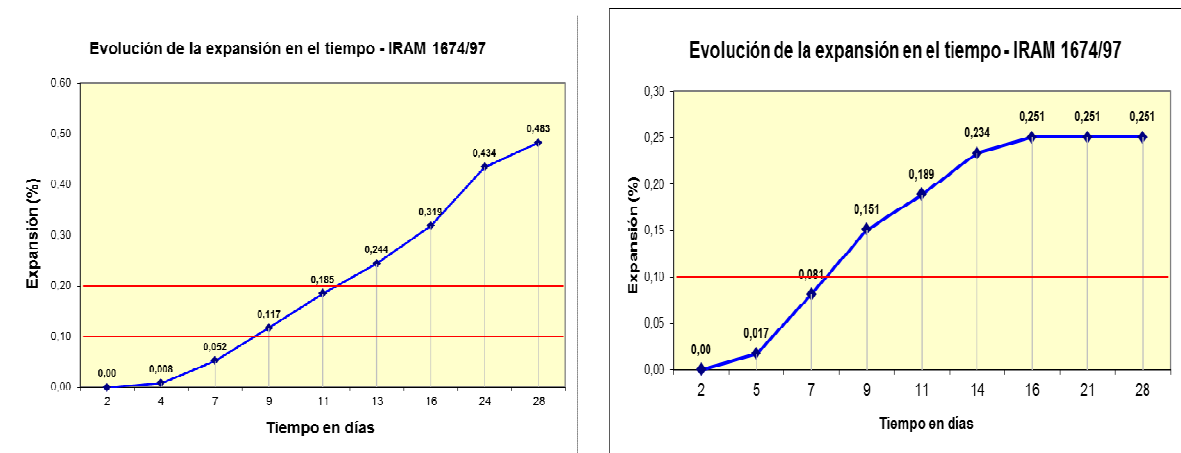


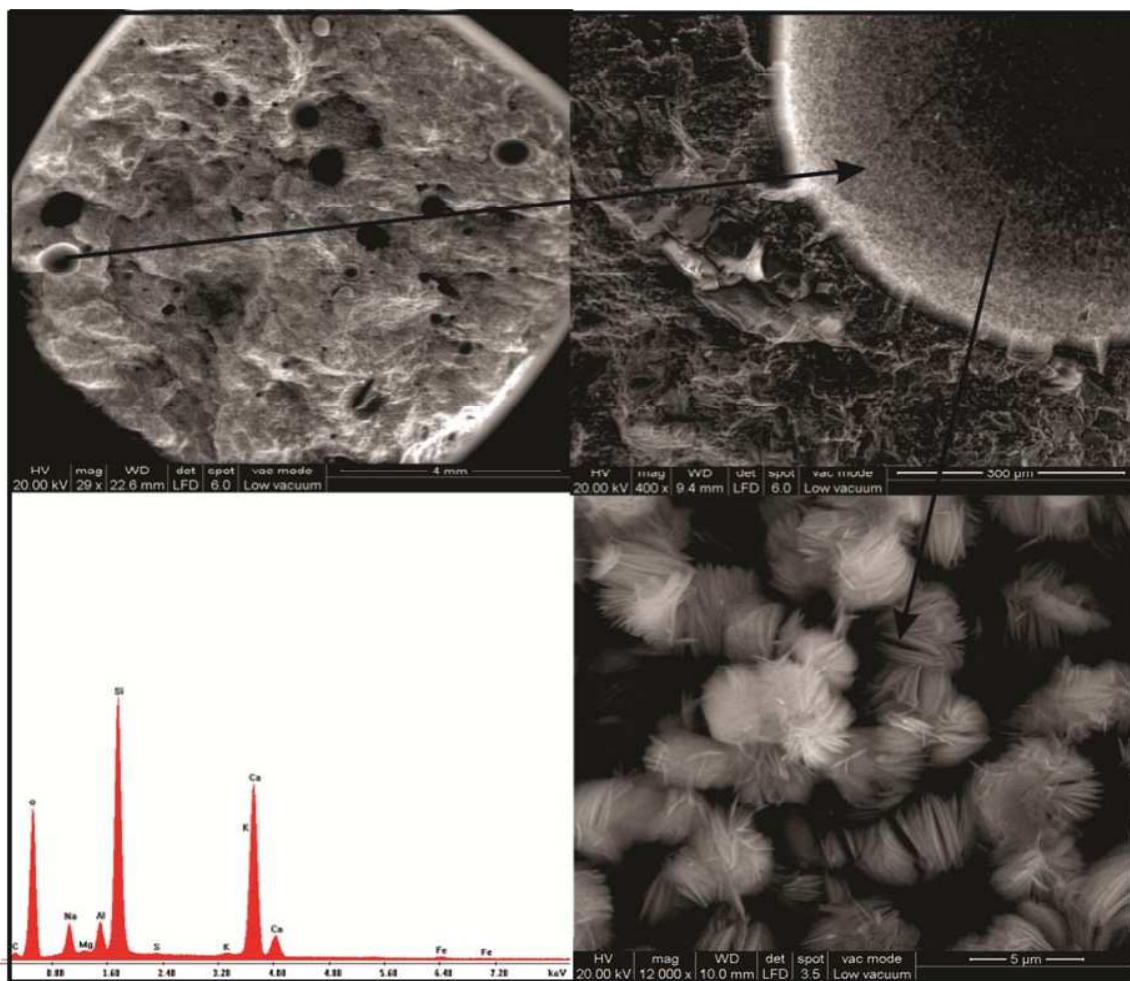
Gráfico 3 - Cantera 3 – Corrientes

Gráfico 4 - Cantera 4 – Misiones

Atento al hecho que algunos agregados muestran expansiones a los 14 días superiores a 0,70 %, la aparición de fisuras resulta coherente con la generación de tensiones de tracción al interior de las barras de mortero, “Fotografía 2”.



Fotografía 2: Fisuración en la barra de mortero



Fotografía 3: Secuencia de imágenes ESEM. Arriba a la izquierda se aprecia un fragmento de la barra de mortero con poros rellenos de gel. A la derecha un detalle del poro con pequeñas fracturas de corto recorrido irradiando del mismo. Abajo gel en roseta.

Paragénesis y alteraciones en basaltos usados en hormigones para grandes obras

El Diagrama de Edax muestra la composición de los geles observados en las barras estudiadas.

Sobre muestras seleccionadas de las barras de mortero se efectuaron observaciones mediante barrido con microscopio electrónico, para examinar con mayor detalle la naturaleza de las fisuras, se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental ESEM. FEI, Modelo Quanta 200 equipado con un Sistema de Microanálisis por Dispersión de rayos X (EDAX) sobre sectores seleccionados de las barras de mortero.

La “Fotografía 3” muestra la presencia de geles, pero en cantidad inferior a la esperable atento a las expansiones verificadas, y con la particularidad que los mismos ocupan casi exclusivamente los poros en el mortero. En pocos casos se evidenciaron fisuras, de corto recorrido, con relleno de geles irradiando de los poros. Tampoco fue posible identificarlos en la superficie de las fracturas desarrolladas en las barras de mortero.

En los casos de barras de mortero con fisuras visibles a ojo desnudo, el volumen de geles observado mediante el examen por microscopía electrónica parece no corresponderse con las tasas de expansión que se verifican.

Finalmente a una de las muestras se la ensayó con diferentes tipos de cementos con adiciones y en agua sin adición de hidróxido de sodio. En el “Grafico 5” se muestran los resultados que indican que la presencia de adiciones que actúan reduciendo la alcalinidad mejora la performance del basalto, reduciendo su expansión.

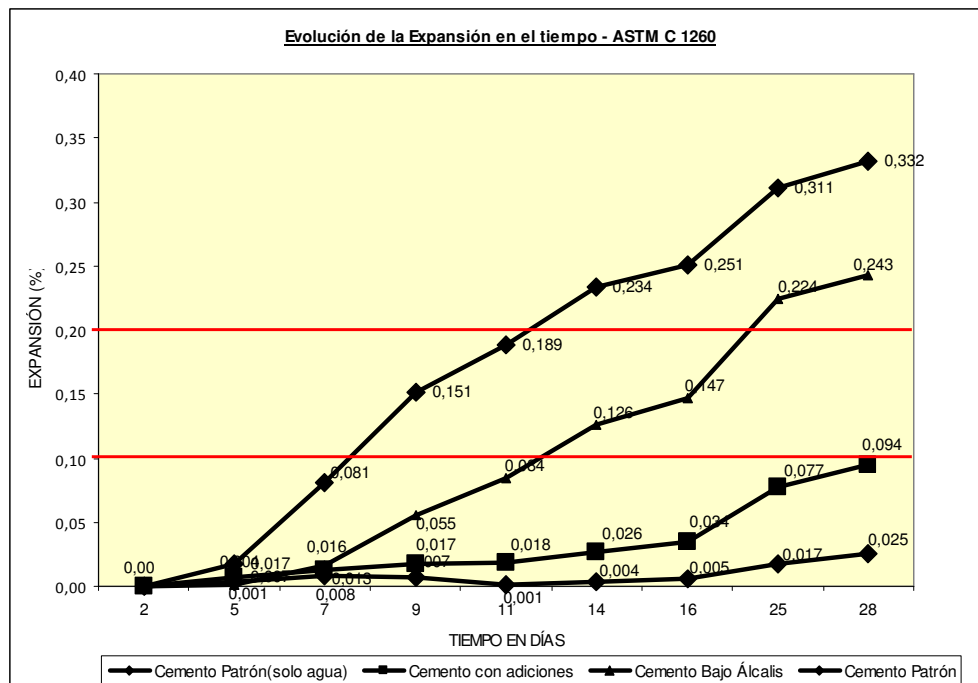


Grafico 5 – Diferentes tipos de cemento



Si bien la reactividad potencial álcali-sílice que se constata en los basaltos mesopotámicos ha sido demostrada fehacientemente, se plantea la posibilidad, que en algunos casos, no toda la expansión medida por la Especificación ASTM C 1260, sea atribuible a la RAS.

#### **4. CONSIDERACIONES GENERALES**

De los estudios realizados sobre las muestras de basalto se pueden inferir las siguientes consideraciones:

- a) La expansión medida por la Especificación ASTM C 1260, no es atribuible totalmente a la RAS.
- b) La expansión de las arcillas, suma a la expansión medida en un medio altamente alcalino y en presencia de la hidrólisis de los silicatos de aluminio.
- c) La descompensación eléctrica en las partículas de arcilla y debido al carácter de la estructura dipolar de las moléculas de agua, son factores que contribuyen a la creación de la doble capa difusa eléctrica, que cubre a dichas partículas. Esta doble capa está compuesta por una capa de aniones (carga negativa), situada en superficie de partícula y la rodea una capa exterior de carga opuesta (cationes). En la literatura técnica a esta doble capa se le denomina, usualmente, como capa dura de agua o capa de agua adsorbida. El espesor de la doble capa es de 400 Å y crece en función directa con el aumento de la superficie específica de la arcilla.

Las adiciones reducen la expansión al diluir el contenido de hidróxido de calcio que aporta el cemento en las reacciones de hidratación.

Esta es una primera etapa en las consideraciones del uso del Método de la Especificación ASTM C 1260 para calificar a los basaltos como reactivos frente a la RAS. Se consideran variables en el método actualmente normalizado,

#### **5. BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Melfi et al. A. J. Melfi, E.M. Picirillo and A. J.R. Nardy. 1988. "Geological and Magmatic Aspects of the Paraná Basin an Introduction, in: The Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects". IAG-USP, pp.1-13.
- 2.- Batic, O.R. y Sota, J.D. 2012. "Reacciones Deletéreas Internas en Durabilidad del Hormigón Estructural". Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Segunda Edición, pp.157-216.
- 3.- Milanesi, C.A. 2008. "Experiencias sobre la caracterización de algunos basaltos de la provincia de Corrientes frente a la Reacción Alcali-Sílice". III Congreso Internacional y 17ª Reunión Técnica AATH.

Paragénesis y alteraciones en basaltos usados en hormigones para grandes obras

- 4.- Lambert, R.St.J., Marsh,L.K., Chamberlain,V.E. 1989. "The occurrence of interstitial granite glass in all formations of the Columbia River basalt group and its petrogenic implications, In: Volcanism and Tectonism in the Columbia River Flood-Basalt Province, Boulder, CO". Geological Society of America, Special Paper 239, pp 321-332.
- 5.- Hoover, D.J., Murphy, W.M. 1989. "Quench fractionation in Columbia River basalt and implications for basalt-ground water interaction. In: Volcanism and Tectonism in the Columbia River Flood-Basalt Province, Boulder, CO". Geological Society of America, Special Paper 239, pp 307-320.
- 6.- Shelley, D. "Igneous and Metamorphic Rocks under the Microscope", Chapman and Hall, London, 445.
- 7.- Marfil, S., Batic, O., Maiza, P., Greco, L., Falcone, D.2010. "Comportamiento de rocas basálticas de las provincias de Corrientes y Entre Ríos frente a las reacción álcali-sílice". VI Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo, República del Uruguay.
- 8.- Schenato, F., Formoso. M.L.L., Dudoignon, P., Meunier, A., Proust, D.Mas. A.2003. "Alteration processes of a thick basaltic lava flow of the Paraná Basin (Brazil): petrographic and mineralogical studies". Journal of South American Earth Sciences 16, pp. 423-444.
- 9.- Sumner, P.D., Hall, K.J., van Roy, J.L., Meiklejohn, K.L.2009. "Rock weathering on the eastern mountains of southern Africa: Review and insights from case studies". Journal of African Earth Sciences, 55. pp 236-244.
- 10.- Davidson, W.H. "The influence of constitution of the engineering properties of crushed volcanic breccias". Proceedings of the 6th Australian Road Research Board Conference 6 (5), pp 70-90.
- 11.- Iñiguez, A.M. 1977. "Influencia de los minerales secundarios en el comportamiento geotécnico de los basaltos del Río Uruguay". Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. 3º Reunión Técnica, Tomo 4, pp.33-0-33-9.
- 12.- Hayase, K., Dristas, J.A., Rimoldi,H. "Presencia de saponita rica en hierro asociada con celadonita, en basaltos de Ayuí Dique de Salto Grande". V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Buenos Aires Tomo III. pp 51-71.