

# **XVI CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO**

OCTUBRE DE 2012 – CÓRDOBA, ARGENTINA

---

ÁREA TEMÁTICA 3: PAVIMENTOS

Nº DE ORDEN: 295

## **REACTIVIDAD ALCALINA POTENCIAL DE LOS BASALTOS MESOPOTÁMICOS**

**AUTORES:** Claudio Rocco - Pedro Maiza - Carlos Fava - Silvina Marfil - Juan Manuel Tobes

**INSTITUCIONES:** Área Departamental Construcciones. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. Dpto. de Geología, Univ. Nacional del Sur, Bahía Blanca. Dirección Nacional de Vialidad. Secretaría de Obras Públicas Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios

**PAÍS:** Argentina

**Palabras clave:** basaltos, reacción álcali-sílice, Mesopotamia.

## **RESUMEN**

Los basaltos de la Mesopotamia son una importante fuente de de agregados destinados a la elaboración de hormigones. Si bien presentan en general un comportamiento en servicio satisfactorio desde el punto de vista de la durabilidad, existen casos documentados de hormigones elaborados con basaltos de la Mesopotamia que han sufrido fenómenos deletéreos severos por efecto de la reacción álcali agregado. Resulta sin embargo de una notoria complejidad establecer de manera objetiva la reactividad alcalina potencial de estos agregados básicamente por dos particularidades: en primer lugar la dificultad para cuantificar la presencia del componente mineralógicamente reactivo y en segundo lugar el hecho de que prácticamente todos estos agregados califican como potencialmente reactivos en el ensayo según norma IRAM 1674. En este trabajo se presentan los resultados de estudios y ensayos correspondientes a la evaluación de la reactividad alcalina potencial de agregados basálticos provenientes de cuatro canteras comerciales ubicadas en la Mesopotamia Argentina. Sobre muestras representativas de los frentes de explotación de cada una de las canteras analizadas se realizaron estudios petrográficos con esteromicroscopio y microscopía de polarización sobre secciones delgadas, que incluyeron la cuantificación del vidrio volcánico presente en el agregado. Estos estudios se complementaron con ensayos acelerados de reactividad alcalina potencial de barras de mortero según norma IRAM 1674, ensayos químicos de reactividad alcalina potencial según norma IRAM 1650 y ensayos de expansión de prismas de hormigón hasta un año de edad según norma IRAM 1700. Adicionalmente se realizaron ensayos acelerados de barras de mortero en similares condiciones a las establecidas en la norma IRAM 1674 pero exponiendo a las mismas a diferentes concentraciones de NaOH en el rango comprendido entre 0 y 1N. Los resultados obtenidos permiten correlacionar entre si la información proveniente de las diferentes técnicas de evaluación aplicadas y establecer en forma objetiva el grado de reactividad del agregado. Por otro lado se aporta información de gran utilidad para establecer criterios de utilización de estos agregados en el contexto de la problemática de la reacción álcali agregado.

## INTRODUCCIÓN

Los basaltos de la mesopotamia argentina constituyen una fuente importante de provisión de agregados para la elaboración de hormigones y su empleo como agregado para la elaboración de hormigones se extiende a lo largo de varias provincias de nuestro país. Si bien desde el punto de vista de la durabilidad estos basaltos presentan en general un comportamiento satisfactorio en servicio, existen casos documentados en los que se han manifestado fenómenos deletéreos severos por efecto de la reacción álcali sílice (RAS). Como ejemplo de ello puede citarse el hormigón de la Ruta Nacional N° 127, el aeropuerto de la ciudad de Corrientes y pavimentos urbanos de Curuzú Cuatiá que presentan claras evidencias de deterioro debido al desarrollo de la reacción (1). Tal como fuera detallado en trabajos previos, los autores observaron en estos hormigones fisuras y coronas de reacción relacionadas con las especies reactivas presentes en las rocas basálticas, conformadas por pastas vítreas y/o argilizadas principalmente con montmorillonita. Los productos de neoformación identificados fueron ettringita, sílice amorfa a pobremente cristalizada y alúminosilicatos (estructuras ceolíticas).

La reactividad potencial de estas rocas presenta un grado de heterogeneidad importante que esta asociado a la propia heterogeneidad de los frentes de las coladas y al grado de alteración de la roca. Estas coladas forman parte de las cuencas sedimentarias de Paraná y Chacoparanense. Afloran las Formaciones Piramboia y Botucatu, los basaltos de la Serra Geral y sus intercalaciones clásticas. Estas coladas cubren areniscas de origen eólico y fluvial con espesores entre 200 y 600 metros (2). El basalto aflora junto al río Uruguay en el este de Misiones y Corrientes y NE de Entre Ríos. Cubre aproximadamente 1.000.000 km<sup>2</sup> en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. El espesor varía entre 800 y 1000 metros alcanzando los 1930 metros en Brasil (3). Las coladas expuestas en la provincia de Misiones se extienden en el subsuelo hasta la localidad entrerriana de Gualeguay (2). Son basaltos toleíticos con textura dominante de grano fino, raras veces porfírica y tonalidades gris oscura a negras (4). Generalizando puede esquematizarse el siguiente modelo: un piso, por lo común de 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, la textura es ofítica o subofítica, prácticamente no hay vidrio 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 del vidrio (5).

En este trabajo se presentan resultados de ensayos de caracterización de la reactividad alcalina potencial de muestras de basaltos obtenidas de canteras ubicadas en la Mesopotamia Argentina. Los ensayos incluyeron estudios petrográficos, ensayos acelerados de reactividad alcalina potencial de barras de mortero según norma IRAM 1674 (7) y con distintas concentraciones de álcalis, químicos de reactividad alcalina potencial según norma IRAM 1650 (8) y de expansión de prismas de hormigón hasta 1 año de edad según norma IRAM 1700 (9). Cabe destacar que el presente trabajo forma parte de un proyecto de investigación sobre control de la reacción álcalis agregado en hormigones elaborados con agregados basálticos de la Mesopotamia Argentina destinado a obras viales de hormigón,

entre la Dirección Nacional de Vialidad y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata.

## **MATERIALES**

Se estudiaron 4 canteras de basalto que se encuentran actualmente en explotación. Dos ubicadas al sur de la provincia de Corrientes, próximas a la ciudad de Curuzú Cuatiá, una al norte de Entre Ríos, próxima a la ciudad de Concordia y una en Misiones, en el ámbito municipal de la ciudad de Posadas. Sin orden de prelación ni correspondencia las canteras se identifican en este trabajo como A, B C y D. El material presenta una densidad comprendida entre 2,93 y 2,98 con valores de absorción en agua entre 1,21 y 1,58 %. En cada cantera se realizó un reconocimiento visual del frente de explotación, se identificó el sector de donde se estaba realizando la extracción del material y se tomaron muestras representativas del material procesado de dicho sector. Este muestreo se realizó a boca de cinta en la planta de trituración de cada cantera, obteniéndose en cada caso dos fracciones de agregados del mismo origen: arena de trituración (fracción 0-9 mm) y piedra partida (fracción 6-19 mm). Las muestras, cuyo tamaño fue del orden de los 2 m<sup>3</sup>, fueron reducidas por cuarteo en laboratorio para obtener las porciones utilizadas en los estudios y ensayos.

## **ENSAYOS**

Para los estudios petrográficos se utilizó un estereomicroscopio trinocular Olympus SZ-CTV y microscopio de polarización Olympus, trinocular BH-2. La evaluación de la reactividad de las rocas se realizó confeccionando barras de mortero según lo establecido en la Norma IRAM 1674. La determinación de la sílice disuelta y reducción en alcalinidad se realizó según lo establecido en la Norma IRAM 1650. Las muestras se trituraron hasta obtener una fracción comprendida entre los tamices IRAM 300 mm y 150 mm, luego se lavaron y secaron a 105°C. Una cantidad normalizada se colocó en una solución de NaOH a 80°C durante 24 hs. Se tomó una alícuota, se llevó a pH ácido y se determinó la sílice disuelta por gravimetría.

Para la determinación del contenido de vidrio y arcillas en las muestras de triturado basáltico, se tomó una porción de material triturado, se impregnó en resina tipo epoxi de índice de refracción ( $n$ ) ~ 1.54. Se dejó fraguar y se pulió hasta alcanzar un espesor de 20 micrones. Los cortes delgados se estudiaron con microscopio de polarización. Se realizaron 2 mediciones: 1) Se contó el número de partículas con vidrio y con arcillas (se indica como % de partículas con vidrio y % de partículas con arcillas respectivamente). 2) Se cuantificó el porcentaje de vidrio y arcilla dentro de cada partícula. Se informa como % de vidrio y % de arcillas en la muestra. Se contaron las partículas presentes en el campo del microscopio. Esta operación se repitió 5 veces (en 5 campos) con un objetivo x5 (magnificación 50) y otras 5 veces con una magnificación x100. Se promediaron las determinaciones sobre los 10 campos.

Los ensayos acelerados de reactividad alcalina potencial se realizaron sobre prismas de mortero según norma IRAM 1674. De cada cantera se ensayaron las muestras de arena de trituración (fracción 0-6 mm) y de piedra partida (fracción 6-19 mm). De manera adicional, y conforme el procedimiento establecido en dicha norma, se efectuaron ensayos variando la concentración de NaOH. Los ensayos de reactividad alcalina potencial a larga edad se realizaron sobre prismas de hormigón según norma IRAM 1700. En este caso solo se ensayaron las muestras correspondientes a la piedra partida (fracción 6-19 mm). Ambos

ensayos se realizaron por duplicado procediéndose al moldeo de probetas en días diferentes.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Petrografía

Las rocas de las 4 canteras estudiadas son basaltos toleíticos. Al microscopio, sobre secciones delgadas se observó que están constituidas por tablillas de plagioclasa (andesina), parcialmente argilizada. En los interespacios se disponen piroxenos (augita y augita titanífera), parcialmente desferrizados, asociados a óxidos e hidróxidos de hierro. Algunos sectores presentan una asociación de minerales arcillosos, de baja birrefringencia. La textura varía de intersertal a intergranular. En la roca de la cantera D la asociación de minerales arcillosos, principalmente nontronita, saponita con sus variedades férricas, retiene el hierro movilizado por la desvitrificación y tiñe la roca de color pardo rojizo. En la roca de la cantera B se reconocen sectores vítreos con procesos de desvitrificación de grado muy variable, desde zonas con vidrio relíctico a totalmente desvitrificado. La roca obtenida en la cantera C presenta algunos interespacios que están colmatados por materiales producto de la desvitrificación del vidrio volcánico. En estos sectores es común la presencia de apatito. Por último la cantera A presenta una roca con algunos interespacios que están rellenos por una asociación de alteración arcillosa (principalmente nontronita y saponita), con sectores donde el núcleo de esta asociación es celadonita y sílice criptocristalina. Aunque es poco frecuente puede observarse vidrio volcánico relíctico. Los resultados volcados en la tabla 1 muestran la presencia de vidrio en porcentajes que varían entre 0,2 y 2,5% y de arcilla entre 2,0 y 4,0%, lo que le confieren a los agregados analizados características de potencial reactividad frente a los álcalis.

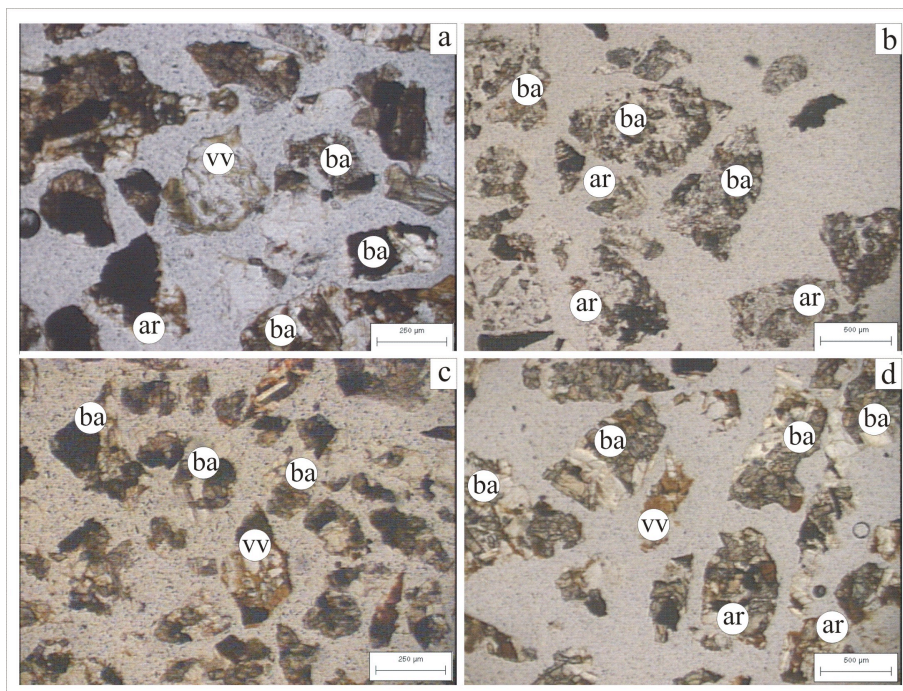
En la tabla 1 se muestran los resultados de la determinación del contenido de vidrio y arcillas en las muestras de triturado basáltico correspondiente a la fracción 6-19 mm. Las muestras de las canteras C y D presentaron contenidos de vidrio que se aproximan al 3% considerado como valor límite para calificar la reactividad alcalina potencial de agregados volcánicos según CIRSOC 201-2005. Respecto al contenido de arcilla todos los agregados superaron el valor máximo del 2% establecido al mismo efecto en dicho reglamento.

**Tabla 1.** Porcentaje de vidrio y arcilla en muestras de triturado basáltico.

Cantera	% de partículas con vidrio	% de vidrio en la muestra	% de partículas con arcilla	% de arcilla en la muestra
A	19	1,5	7	2,0
B	14	0,2	5	4,0
C	28	2,4	34	2,8
D	20	2,5	19	2,2

En la figura 1a se observan partículas de la roca D (con luz paralela). Se muestra el vidrio volcánico en clastos monominerales (vv) y vidrio intersticial. Los sectores argilizados (ar) pueden identificarse por sus propiedades ópticas. La figura 1b corresponde a la cantera B. Se observan fragmentos de la roca triturada (x50) donde se identifican sectores parcialmente argilizados. El basalto está constituido principalmente por piroxenos, feldespatos (andesina cálcica) y minerales opacos. No se observó vidrio volcánico

intersticial. En la figura 1c se observan partículas de basalto (ba) de la cantera C con cantidades variables de vidrio desvitrificado intersticial, otras de vidrio volcánico (vv) desvitrificado y algunas argilizadas parcialmente (ar). La figura 1d se muestra fragmentos de la roca triturada de la cantera A (con luz paralela x 50 aumentos). Se identifica al basalto (ba), vidrio volcánico (vv) desvitrificado y sectores argilizados (ar).



**Figura 1.** Imágenes características de cortes delgados correspondientes a las muestras analizadas

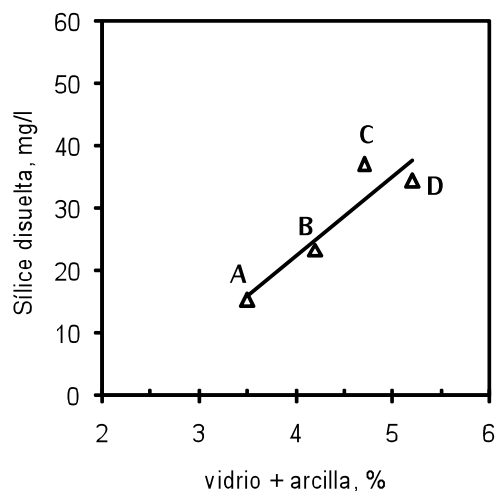
### Ensayo químico

El ensayo químico se realizó según lo establecido en la norma IRAM 1650 sobre las muestras de arena de trituración y piedra partida de cada una de las canteras estudiadas. Los resultados obtenidos se informan en la tabla 2. De acuerdo con la experiencia previa que se tiene de este ensayo y sobre este tipo de rocas, valores superiores a 20 mg/l permiten calificarlas como potencialmente reactivas. Los valores que se indican en la tabla 2 muestran que el valor de sílice disuelta resultó ser alto en todas las muestras.

**Tabla 2:** Método de ensayo químico.

C1: sílice disuelta en milimoles por litro. R: reducción en alcalinidad.

Fracción	Cantera	Sílice disuelta (mg/l)	C1 (milimoles/litro)	R
Piedra Partida (6-19 mm)	A	15,2	50,7	45
	B	23,4	78,0	55
	C	34,5	115,0	40
	D	37,0	126,6	35
Arena Trituración (0-6 mm)	A	21,7	72,3	260
	B	21,1	70,3	300
	C	47,8	159,7	245
	D	34,7	115,7	220



**Figura 2.** Relación entre el % total de vidrio y arcilla contenido en la muestra y la cantidad de sílice disuelta medida según IRAM 1650. Muestras de piedra partida (fracción 6-19 mm)

Por otra parte, en la figura 2 se muestra la correlación entre la cantidad de sílice disuelta, y la cantidad total de arcilla y vidrio, expresada como porcentaje en peso, medida en las muestras de piedra partida. En el gráfico se indican la curva de correlación lineal y con letras la identificación de la cantera de origen. Como era de esperar, se observa una muy buena correlación entre ambas variables, lo que permite corroborar la confiabilidad de las determinaciones de vidrio y arcilla mediante la técnica experimental implementada.

La cantera C presentó el valor de sílice disuelta más elevado (contemplando los resultados obtenidos para la arena de trituración y la piedra partida), seguida por las muestras extraídas de la cantera D. Los menores valores se observaron en las canteras A y B.

### Ensayos acelerados de barras de mortero, según Norma IRAM 1674

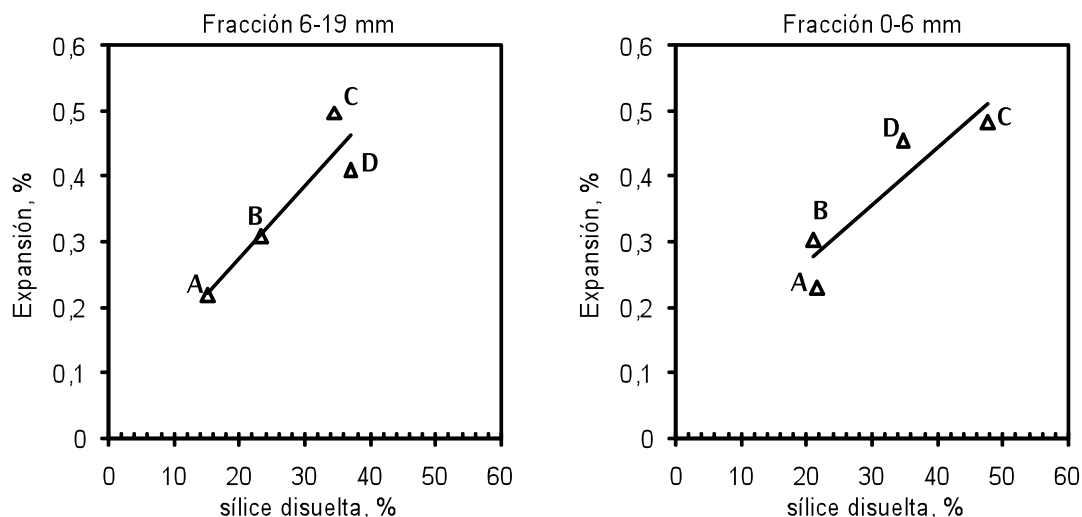
En la tabla 3 se muestran los resultados de expansión a 16 días de las barras de mortero correspondientes a las muestras de arena de trituración y piedra partida de las distintas canteras ensayadas en las condiciones que establece la norma IRAM 1674. Cada valor informado corresponde al promedio de ensayo de seis probetas pertenecientes a 2 mezclas de ensayo.

**Tabla 3:** Resultados de ensayo IRAM 1674

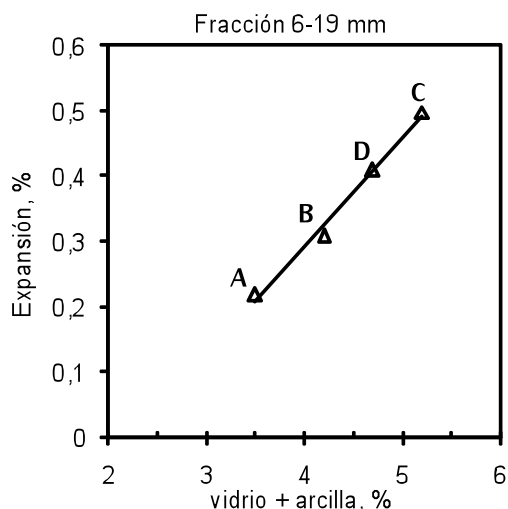
Fracción	Cantera	Expansión, %
Piedra Partida (6-19 mm)	A	0,218
	B	0,309
	C	0,498
	D	0,409
Arena Trituración (0-6 mm)	A	0,229
	B	0,303
	C	0,483
	D	0,455

Como se puede observar todas las muestras ensayadas presentaron valores de expansión que superan holgadamente el límite máximo de 0,10% establecido en el CIRSOC-201-2005 para calificar a los agregados como potencialmente reactivos, según este ensayo. En la figura 3 se muestran los resultados de la tabla 3 en función de la cantidad de sílice disuelta

determinada en las muestras ensayadas. Se indica con letras la identificación de la cantera de origen. Como se puede observar las expansiones obtenidas en las barras de mortero se correlacionan razonablemente bien con el contenido de sílice disuelta.



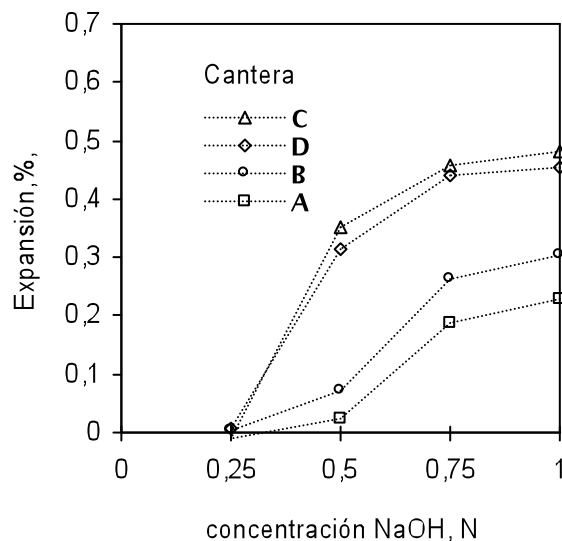
**Figura 3.** Valores de expansión obtenidos en el ensayo acelerado en función del contenido de sílice disuelta determinada en las muestras ensayadas



**Figura 4.** Valores de expansión obtenidos en el ensayo acelerado en función del contenido de vidrio y arcilla determinada en las muestras ensayadas. Muestras de piedra partida

En la figura 4 se muestran los resultados de expansión de las barras de mortero elaboradas con el material obtenido de muestras de piedra partida en función del porcentaje de vidrio y arcilla determinado en las muestras ensayadas. Se indica con letras la identificación de la cantera de origen. Como se puede observar los resultados presentan una correlación lineal sorprendente.





**Figura 5.** Valores de expansión obtenidos en el ensayo acelerado en función de la concentración de NaOH. Muestras de piedra partida

Como fuera expresado anteriormente, se realizaron siguiendo la metodología de ensayo establecida en la norma IRMA 1674, ensayos sobre las muestras de piedra partida de todas las canteras en estudio, variando la concentración de NaOH desde 0.25 hasta 1 N, valor que establece la norma para la evaluación de la reactividad potencial del agregado. Los resultados obtenidos (valores de expansión a la edad de 16 días) se muestran en la figura 5. Como era de esperar, las expansiones crecen cuando el contenido de álcalis aumenta.

En el gráfico se observa claramente un comportamiento diferenciado por grupo de canteras, donde las canteras denominadas C y D alcanzan valores de expansión sensiblemente más elevados que las A y B, para todas las concentraciones.

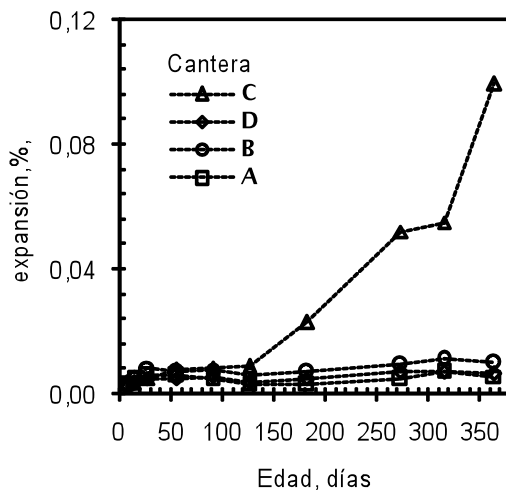
Para concentraciones de álcalis de 0.25 N los valores de expansión a la edad de 16 días son para las cuatro muestras estudiadas prácticamente iguales a cero. Es importante destacar que para las muestras extraídas de las canteras C y D, que presentaban mayores porcentajes de vidrio y arcilla y según expresáramos en la tabla 2, la mayor cantidad de sílice disuelta, a partir de concentraciones de NaOH de 0.5 N alcanzan valores de expansión superiores al límite de 0.1 %. Finalmente, a partir de concentraciones de 0.75 N ese valor de expansión es superado por todas las muestras evaluadas.

### Ensayos de prismas de hormigón, según norma IRAM 1700

En la figura 6 se representan los resultados de expansión de los prismas de hormigón elaborados con las muestras de piedra partida (fracción 6-19 mm) ensayados según norma IRAM 1700 hasta la edad de 1 año. Cada valor representado corresponde al promedio de ensayo de seis probetas pertenecientes a 2 mezclas de ensayo. Se puede observar que el agregado de la cantera C presentó valores de expansión a 1 año que superan el 0,04%, lo que califica a dicho agregado como reactivo. Por el contrario las muestras de agregados de las restantes canteras no superaron dicho límite.

A pesar del hecho de que no es posible correlacionar los resultados obtenidos en este ensayo con los resultados que se obtuvieron en los ensayos acelerados, químico y con los contenidos de vidrio y arcilla presentes en cada una de las muestras, es interesante destacar que el agregado que resulta potencialmente reactivo, es decir, aquél que

representa a la cantera C, fue el que presentó un mayor contenido de sílice disuelta según se puede observar en la tabla 2, y los mayores porcentajes de vidrio + arcilla.



**Figura 6.** Evolución de la expansión en función de la edad de prismas de hormigón ensayados según norma IRAM 1700. Muestras de piedra partida

### CONCLUSIONES:

Los resultados de los estudios y ensayos realizados sobre las muestras de los agregados basálticos mesopotámicos de las canteras analizadas permiten establecer las siguientes conclusiones:

1. Desde el punto de vista petrográfico, las rocas basálticas de las cuatro canteras estudiadas presentaron contenidos de vidrio volcánico y de arcillas que permiten calificarlas petrográficamente como potencialmente reactivas (las especies deletéreas son pastas vítreas y/o argilizadas principalmente con montmorillonita). Dicha calificación es coherente con los resultados obtenidos en los ensayos químicos, según IRAM 1650, y ensayos acelerados, según IRAM 1674. El mayor grado de reactividad correspondió al material de la cantera C donde se alcanzaron expansiones del orden del 0,5% en el ensayo IRAM 1674, valores de sílice disuelta del orden de 40 mg/l según IRAM 1650 y contenidos de vidrio y arcilla superiores al 5%. La menor reactividad se observó en los agregados de la cantera A en donde se alcanzaron expansiones del orden del 0,2% en el ensayo IRAM 1674, valores de sílice disuelta del orden de 20 mg/l según IRAM 1650 y contenidos de vidrio y arcilla del orden de 3,5%.
2. En relación al punto precedente es interesante mencionar que los valores de expansión alcanzados en el ensayo acelerado según norma IRAM 1674 presentaron una fuerte correlación lineal con el contenido total de vidrio y arcilla presente en la muestra. Este resultado permite inferir la existencia de un grado de acción colaborativa de la arcilla en el mecanismo de expansión bajo altas concentraciones de álcalis y de activación térmica.
3. Ensayos acelerados realizados con diferentes contenidos de álcalis mostraron un comportamiento bien diferenciado delimitando dos grupos de canteras de acuerdo con los valores de expansión medidos, presentado mayores valores aquellas con

mayor contenido de sílice disuelta (y mayores contenidos de vidrio + arcilla) para todas las concentraciones de NaOH evaluadas.

4. A pesar que según las técnicas experimentales de corta edad las rocas basálticas de las cuatro canteras fueron calificadas como potencialmente reactivas, solamente el agregado de la cantera C (calificado como el de mayor reactividad alcalina potencial) presentó en el ensayo de expansión a larga edad según IRAM 1700 valores de expansión que permiten calificar definitivamente a dicho agregado como reactivo frente a los álcalis del cemento.
5. De acuerdo con las evaluaciones realizadas, dicho agregado presentó los valores más elevados de sílice disuelta y de contenidos de arcilla y vidrio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Geología de la UNS-INGEOSUR, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y a la Dirección Nacional de Vialidad por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS

- (1) Maiza, P., Marfil, S., Rocco, C., Fava, C. y Tobes, J. "Pavimentos de hormigón elaborados con agregados basálticos y afectados por la reacción álcali sílice (RAS). Casos de estudio". I Cong. Hormigón Premezclado de las Américas 2010", XII Cong. Iberoamericano del Hormigón Premezclado, IV Cong. Intern. de Tecnología del Hormigón y 18 Reunión Técnica de la AATH. Mar del Plata. Publicado en CD. (2010), 12 pag.
- (2) Iriando M., KROHLING, D. "Cambios climáticos en la cuenca del río Uruguay". UNLitoral. Eds UNL, (2008).
- (3) Fili, M., Da Rosa Filho, E., Auge, M; Montañó X., Tujchneider, O. "El Acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur)". Instituto Tecnológico Geominero de España. Boletín Geológico y Minero 109 (4) (1998), 389-394.
- (4) Pezzi, E.; Mozetic M., "Cuencas sedimentarias de la región chacoparanense". En: Chebli, G. y Spalletti, L. (Eds). Cuencas Sedimentarias Argentinas. UNTucumán, Correlación Geológica Serie 6 (1989), 65-78.
- (5) Marfil, S., Batic, O, Maiza, P., Grecco, L. y Falcone, D. Comportamiento de Rocas Basálticas de las Prov. de Corrientes y Entre Ríos Frente a la Reacción Álcali – Sílice. VI Congreso Uruguayo de Geología. Parque UTE Lavalleja (Uruguay). Publicado en CD. (2010). 6 pag.
- (6) Turner, S., Regelous, M., Kelley, S. Hawkesworth, C. Mantovani, M. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision 40 Ar-39 Ar geochronology. *Herat and Planetary Science Letters* 121: (1994), 333-348.
- (7) IRAM 1674. Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra del mortero.
- (8) IRAM 1650. Reactividad alcalina potencial en agregados. Método de ensayo químico.
- (9) IRAM 1700. Agregados. Determinación del cambio de longitud debido a la reacción álcali-agregado, en prismas de hormigón.