

ESTUDIO DE REACTIVIDAD ALCALINA POTENCIAL DE BASALTOS PROCEDENTES DE YACIMIENTOS UBICADOS EN LA MESOPOTAMIA ARGENTINA

C. Rocco⁽¹⁾, P. Maiza^(2,3), C. Fava⁽¹⁾ S. Marfil^(2,4) y J. Tobes⁽¹⁾

1. Área Departamental Construcciones. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. Calle 48 y 115. 1900. La Plata. Argentina. TE 54-221-4236696. claudiorocco@sinectis.com.ar.
2. Dpto. de Geología – Univ. Nacional del Sur - INGEOSUR. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca. Argentina. TE. 54-291-4595101 int. 3021.
3. Investigador Principal CONICET. pmaiza@uns.edu.ar
4. Inv. Independiente CIC de la Prov. de Bs. As. smarfil@uns.edu.ar

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

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de la evaluación de la reactividad alcalina potencial de agregados basálticos provenientes de cuatro canteras de la mesopotamia argentina. Sobre muestras de los frentes de explotación, se realizaron estudios petrográficos con esteromicroscopio y microscopio de polarización sobre secciones delgadas, que incluyeron la cuantificación del vidrio volcánico presente en el agregado, ensayos acelerados de reactividad alcalina potencial de barras de mortero según norma IRAM 1674, químicos de reactividad alcalina potencial según norma IRAM 1650 y de expansión de prismas de hormigón hasta 1 año de edad según norma IRAM 1700. Los resultados obtenidos permiten correlacionar la información proveniente de las diferentes técnicas de evaluación aplicadas y establecer el grado de reactividad del agregado.

INTRODUCCIÓN

Los basaltos de la mesopotamia argentina constituyen una fuente importante de provisión de agregados para la elaboración de hormigones. 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). En estos hormigones, los autores observaron 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 Botucatú, 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 km² 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), 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).

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 m³, 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). 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 cantera 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 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).

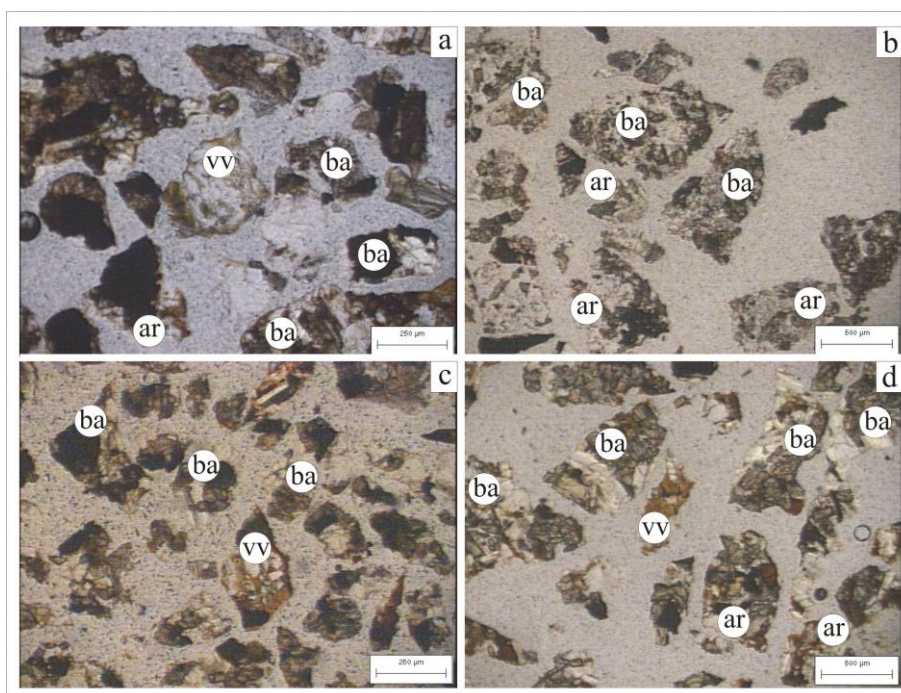


Figura 1: Imágenes características de cortes delgados correspondientes a las muestras analizadas

Ensayo químico

En la tabla 2 se muestra los resultados del método de ensayo químico realizado según lo establecido en la norma IRAM 1650 sobre las muestras de arena de trituración y piedra partida de cada cantera. El valor de sílice disuelta resultó ser alto en todas las muestras. Según experiencias realizadas sobre este tipo de rocas, valores superiores a 20 mg/l permiten calificarlas como potencialmente reactivas.

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	123,3	35
Arena Trituración (0-6 mm)	A	21,7	72,3	260
	B	21,1	70,3	300
	C	47,8	159,3	245
	D	34,7	115,7	220

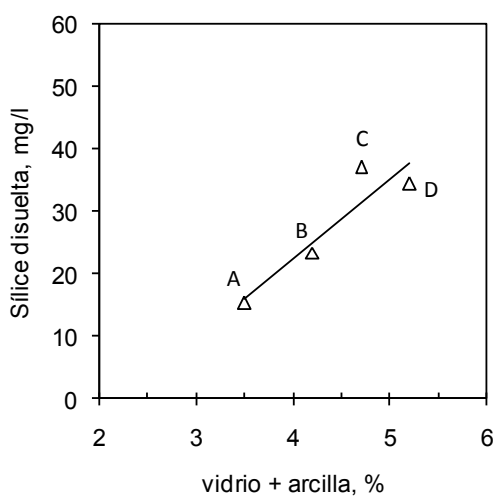


Figura 2: Relación entre el % total de vidrio y arcilla contenido en la muestra y la cantidad de sílice disuelta medida según IRAM 1650. Muestras de piedra partida (fracción 6-19 mm)

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 muestra la curva de correlación lineal y se indica con letras la identificación de la cantera de origen. Como era de esperar, se observa una muy buena correlación entre ambas variables. Esto permite corroborar la confiabilidad de las determinaciones de vidrio y arcilla mediante la técnica experimental implementada.

Ensayos acelerados de barras de mortero, según Norma IRAM 1674

En la tabla 3 se muestra 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. 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.

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

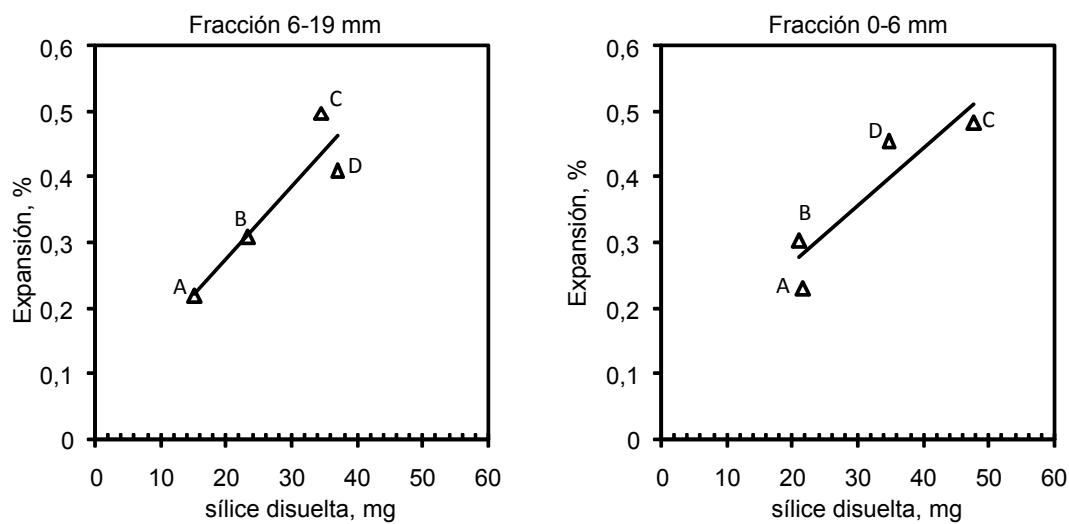


Figura 3: Valores de expansión obtenidos en el ensayo acelerado en función del contenido de sílice disuelta determinada en las muestras ensayadas

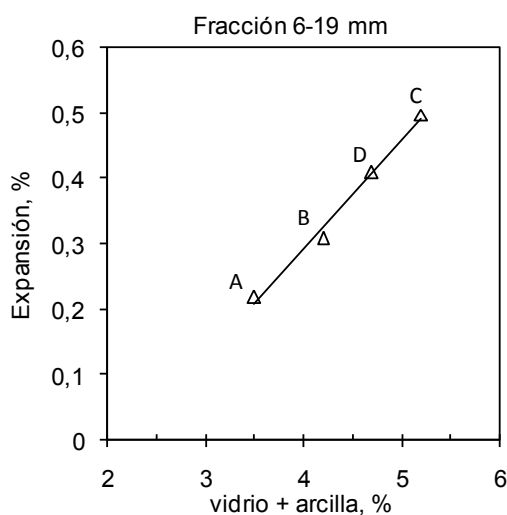


Figura 4: Valores de expansión obtenidos en el ensayo acelerado en función del contenido de vidrio y arcilla determinada en las muestras ensayadas. Muestras de piedra partida

En la figura 4 se muestra 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.

Ensayos de prismas de hormigón, según norma IRAM 1700

En la figura 5 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. Los resultados obtenidos en este ensayo no han podido ser correlacionados en forma coherente con los obtenidos en los ensayos acelerados, químico y con los contenidos de vidrio y arcilla presente.

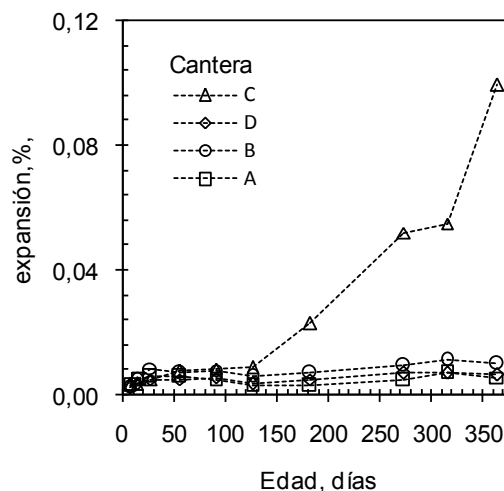


Figura 5: Evolución de la expansión en función de la edad de prismas de hormigón ensayados según norma IRAM 1700. Muestras de piedra partida

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:

- 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%.
- 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.

- c) 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.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dpto. de Geología de la UNS-INGEOSUR, a la CIC de la Prov. de Bs. As. 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) Iriondo 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.