

# PAVIMENTOS DE HORMIGÓN ELABORADOS CON AGREGADOS BASÁLTICOS Y AFECTADOS POR REACCIÓN ÁLCALI SILICE (RAS). CASOS DE ESTUDIO

P. Maiza<sup>(1,2)</sup>, S. Marfil<sup>(1,3)</sup>, C. Rocco<sup>(4)</sup>, C. Fava<sup>(4)</sup> y J. Tobes<sup>(4)</sup>

1. Dpto. de Geología – Univ. Nacional del Sur. San Juan 670. Bahía Blanca.
2. CONICET – INGEOSUR
3. Comisión de Inv. Científicas de la Prov. de Bs. As. – INGEOSUR
4. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata

## RESUMEN

En el trabajo se presentan tres (3) casos de obras de pavimento de hormigón afectadas por reacción álcali-sílice ubicadas en la provincia de Corrientes: un pavimento urbano, una ruta nacional y la calle de rodaje de un aeropuerto. En todos los casos los hormigones fueron elaborados con agregado grueso basáltico y presentan una edad mayor de 12 años. Para cada una de las mencionadas obras se presentan resultados de relevamiento visual del estado superficial de las losas y la caracterización de propiedades petrográficas, físicas y mecánicas obtenidas a partir del estudio y ensayo de testigos de hormigón extraídos de las losas. Las determinaciones realizadas incluyen la evaluación de: contenidos unitarios de cemento, agregados gruesos y agregados finos, densidad, pérdida por calcinación, porosidad, absorción, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad. Los estudios petrográficos realizados con esteromicroscopio y microscopía de polarización sobre secciones delgadas, incluyen la identificación de productos de neoformación mediante difracción de rayos X.

Los resultados obtenidos muestran distintos grados de desarrollo de la reacción álcali sílice, que en los casos más severos muestran coronas de reacción en la interfase de los agregados basálticos y presencia de productos de neoformación, principalmente ettringita, aluminosilicatos de estructuras ceolíticas, calcita y portlandita.

Los materiales responsables del desarrollo de la RAS son: el vidrio volcánico de las rocas basálticas y la calcedonia y sílice criptocristalina presente en el agregado fino. La manifestación más importante está reflejada en el desarrollo de coronas de reacción y en la zona de interfase agregado-mortero donde se concentran los aluminosilicatos formados como consecuencia de la sílice lixiviada.

Palabras clave: RAS, reacción álcali – sílice – hormigón – pavimentos- basalto

## INTRODUCCIÓN

Los basaltos de la Mesopotamia Argentina son una de las mayores fuentes de provisión de agregados gruesos para la elaboración de hormigones en dicha región. Su uso se encuentra particularmente extendido en las provincias de Corrientes y Misiones. Estos basaltos, forman parte de las cuencas sedimentarias de Paraná y Chacoparanense. Las unidades aflorantes son las Formaciones Piramboia y Botucatú, los basaltos de la Serra Geral y sus intercalaciones clásticas. Son de edad Jurásico superior-Cretácico inferior y cubren las areniscas Triásico-Jurásico de origen eólico y fluvial con espesores entre 200 y 600 metros [1]. Son basaltos toleíticos con textura dominante de grano fino, raras veces porfírica y tonalidades gris oscura a negras [2].

Estudios existentes del potencial comportamiento de estos agregados frente a la reacción álcali - sílice (RAS) muestran que las rocas basálticas de la Mesopotamia contienen materiales susceptibles de reaccionar frente a los álcalis, como vidrio volcánico, sílice microcristalina y arcillas del grupo de la montmorillonita. Los resultados de la aplicación de la norma IRAM 1674 indican valores de expansión muy superiores al límite máximo especificado tanto por la norma IRAM y el CIRSOC (2005), a los 16 días y los valores de sílice disuelta determinados según IRAM 1650 son elevados y coherentes con los estudios petrográficos y barras de mortero [3].

En este trabajo se presentan tres obras de pavimentos de hormigón ubicados en la provincia de Corrientes, con más de 12 años de comportamiento en servicio, que han desarrollado RAS deletérea a

partir de los agregados gruesos basálticos utilizados en su elaboración. Las obras estudiadas son: (i) un tramo de la ruta nacional N° 127, (ii) dos cuadras de pavimento urbano en la ciudad de Curuzú-Cuatiá y (iii) una de las calles de acceso a la plataforma del aeropuerto de la ciudad de Corrientes. Cabe mencionar que el tramo de pavimento estudiado en la ruta nacional N° 127 fue objeto de estudios previos en los que se concluyó que la RAS no constituyó la causa principal de las patologías detectadas sino el efecto de las mismas [4].

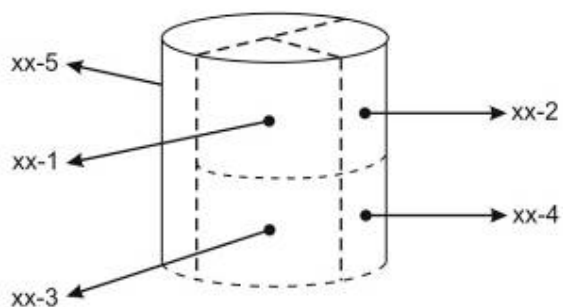
En los apartados siguientes se describe la metodología experimental empleada en el estudio de las obras evaluadas y se presentan en forma separada, para cada una de las obras, los resultados de los estudios y ensayos realizados. Finalmente se exponen las conclusiones que surgen del trabajo realizado.

## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología de estudio aplicada en las tres obras evaluadas incluyó el estudio de antecedentes, el relevamiento visual y fotográfico del estado superficial del pavimento y la realización de estudios y ensayos de Laboratorio a partir de testigos extraídos de las losas de pavimento. Los testigos fueron de 15 cm de diámetro y abarcaron todo el espesor de las losas. Se realizó además la evaluación petrográfica de los hormigones y sus agregados, se determinó su composición, y se evaluaron propiedades físicas y mecánicas tales como densidad, absorción, porosidad resistencia a la compresión y módulo de elasticidad.

El relevamiento de las obras consistió en la inspección visual del estado superficial de los pavimentos con identificación de las manifestaciones patológicas atribuibles a la RAS y otras patologías asociadas a cambios de volumen en estado fresco y endurecido (contracción plástica, contracción térmica, contracción por secado, etc.). No se incluyó el relevamiento de patologías específicas atribuibles a la acción de las cargas del tránsito y/o defectos constructivos. En el tramo de la ruta nacional N° 127, debido a su extensión, el relevamiento se realizó por muestreo aleatorio sistemático incluyendo un total de 756 losas, equivalente al 10,4% de la superficie total del pavimento. En las dos obras restantes la inspección abarcó el 100% de las losas.

Para la realización de los estudios petrográficos y determinación de propiedades físicas y composición de los hormigones, se procedió a particionar los testigos según el esquema de cortes que se indica en el esquema y foto de la figura 1. Los cortes se realizaron en una mesa de corte por vía húmeda con disco provisto de corona diamantada. La submuestra XX-5 se destinó a los estudios petrográficos, las submuestras XX-1 y XX-3 a la determinación de propiedades físicas y composición, mientras que las submuestras XX-2 y XX-4 se reservaron para la determinación de contenido de álcalis.



Nota : xx es la numeración impresa en el testigo



Figura 1. Obtención de muestras para estudios petrográficos y determinación de propiedades físicas, contenido de álcalis y composición de los hormigones

Para los estudios petrográficos se utilizó un microscopio de polarización Olympus B2-UMA trinocular y estereomicroscopio Olympus trinocular SZ-PT; con una cámara de video Sony 151 A incorporada, monitor de alta resolución, procesador de imágenes Image Pro Plus versión 3.1 y programas computarizados para tratamiento de imágenes. Los productos de reacción se analizaron por DRX con un difractor de rayos X Rigaku, D-Max IIIc con monocromador de grafito con 35 Kv y 15 mA.

## RESULTADOS

### CASO 1: RUTA NACIONAL N° 127

La obra se encuentra ubicada al sur de la provincia de Corrientes entre el límite con la provincia de Entre Ríos y el paraje Cuatro Bocas en el empalme con la ruta nacional N° 14. El tramo se extiende entre los kilómetros 291 y 324 de la ruta Nacional N° 127, abarcando una longitud de camino de 33 km aproximadamente. La calzada se encuentra constituida por losas de hormigón simple de 23,5 cm de espesor promedio, 3,65 m de ancho y juntas de contracción transversal cada 4,50 m.

#### Relevamiento visual del pavimento

El relevamiento visual mostró manifestaciones claras de reacción álcali –sílice (RAS), con presencia de fisuras tipo mapa, cambios de coloración en el hormigón y exudación de geles en numerosas losas. Los cuadros de fisuración se manifiestan con distintos grados de intensidad, se concentran mayormente en torno a las juntas de contracción y en los casos de mayor intensidad se extienden hacia el centro de las losas. En las losas donde la patología se manifiesta en grado moderado y severo comprometen la integridad del pavimento. La ocurrencia de este tipo de manifestaciones se hacen evidentes a partir del Km 294 en primer lugar en forma aislada y posteriormente a partir del Km 311 en forma sistemática y con mayor grado de intensidad y daño. En las fotos de la figura 2 se muestra el estado de dos losas afectadas por la RAS.

Se observó, en forma recurrente la existencia de fisuras longitudinales cortas en correspondencia con juntas transversales de contracción, supuestamente coplanares con la posición de pasadores. Estas fisuras presentan cambio de coloración en el hormigón del relieve de la fisura de naturaleza incierta. En algunos casos las fisuras presentan ramificaciones. Cabe indicarse que este tipo de fisuras son indicadas en la bibliografía como fisuras asociadas a la RAS.

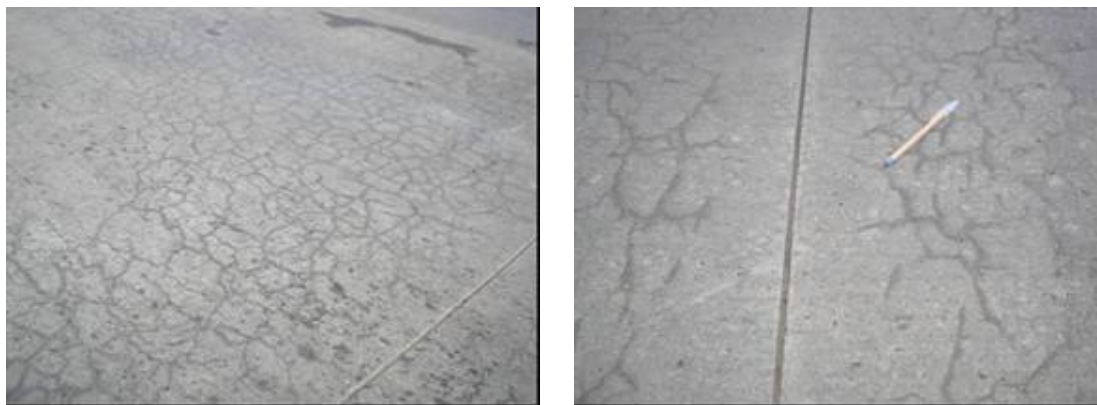


Figura 2. Aspecto superficial de dos losas de pavimento afectadas por RAS donde se observa el cuadro de fisuración, generalizado (foto izquierda) y concentrado en la junta transversal (foto derecha)

#### Propiedades físicas, mecánicas y composición del hormigón

La resistencia a la compresión y módulo de elasticidad correspondiente al ensayo de tres (3) testigos, extraídos en losas o sectores de losas sin signos de deterioro, arrojaron valores promedio de 51,0 MPa

y 43 GPa respectivamente. Dichos valores son compatibles con las exigencias del proyecto según los antecedentes de la obra. Respecto al contenido de cemento, las determinaciones realizadas sobre los mismos testigos arrojando un valor promedio de 380 kg/m<sup>3</sup>.

En la tabla 1 se muestran los valores promedios, máximos y mínimos de las propiedades físicas y contenidos de agregados determinadas a partir del ensayo de los testigos. Se incluyen en la tabla valores de densidad seca y saturada a superficie seca, pérdida por calcinación, porosidad, absorción en agua y contenidos unitarios de agregados gruesos y finos. Los valores informados corresponden al ensayo de 11 testigos extraídos a lo largo de la obra.

Tabla 1. Propiedades físicas del hormigón y contenido unitario de agregados

Valor	Densidad saturada superficie seca	Absorción	Porosidad	Pérdida por calcinación	Contenido de agregado fino	Contenido de agregado grueso
	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Promedio	2485	4,6	11,1	3,9	871	1030
Máximo	2567	5,3	12,6	4,4	1036	1259
Mínimo	2427	3,0	7,5	3,0	785	873

### Descripción petrográfica de los agregados y del hormigón

El agregado está constituido por partículas de basalto triturado de 4,75 a 30 mm de tamaño y arena natural cuarzoza en la que se destaca la presencia de calcedonia y areniscas silíceas con cemento de sílice criptocristalina. Como aporte de la fracción fina de agregado se observa la presencia de partículas mayores de 4,75 mm de areniscas cuarzosas, algunas con calcedonia y sílice criptocristalina en la matrix y en el cemento.

Los testigos presentan importante fracturamiento en diferentes direcciones. Es frecuente encontrar ettringita, rellenando las cavidades de aire accidental. Se identificó sílice criptocristalina en el interior de fisuras y en las zonas de contacto agregado-mortero. Aproximadamente el 10 % de las partículas basálticas, tiene sectores lixiviados, vacíos, en general subparalelos al plano horizontal, relacionados con fisuras y fracturas. Las zonas de contacto agregado grueso - mortero presentan bordes indefinidos debido al desarrollo de procesos de reacción. La coloración cambia desde el interior de la partícula hacia la periferia. La porosidad es creciente desde el núcleo hacia la zona externa. Cuando ésta es alta está colmatada por minerales de neoformación.

El agregado grueso basáltico presenta desarrollo importante de coronas de reacción, las que se generan por destrucción de la parte periférica de la partícula, borrando su textura. El material de neoformación precipita en una aureola externa de color blanca. Hacia el interior de la partícula aumenta el material masivo, sin estructura para progresivamente reaparecer la textura y mineralogía original. A unos pocos milímetros hacia el interior, se desarrolla otra corona de minerales blanquecinos. Es notable la lixiviación en planos subparalelos de las partículas de basalto selladas por minerales de neoformación. Es frecuente observar una corona constituida por materiales opacos, de escasos milímetros de espesor, en la que predominan los óxidos de hierro, marcando el límite externo del fragmento rocoso involucrado.

En la Figura 3a se observa un sector del mortero totalmente obliterado por los productos de neoformación. Las partículas de basalto (ba) tienen una superficie externa obliterada. Una banda oscura, microcristalina homogeniza el exterior de la partícula. En el interior pueden verse sectores argilizados (ar). Una delgada película semitransparente sella esta zona. Es un material de fractura concoidea, de grano muy fino, adjudicado a sílice criptocristalina (sc). En la figura 3b se observa dos partículas de basalto (ba) con un progresivo deterioro de su textura hacia afuera. El sector externo está compuesto por un material muy fino de color negro. El material blanco de neoformación, está constituido principalmente por aluminosilicatos con sectores de sílice amorfa. La figura 3c

corresponde a un hormigón con claras evidencias de procesos de reacción manifestado por el desarrollo de coronas de reacción en las zonas de contacto agregado basáltico (ba) – mortero. Es abundante el producto de reacción (n).

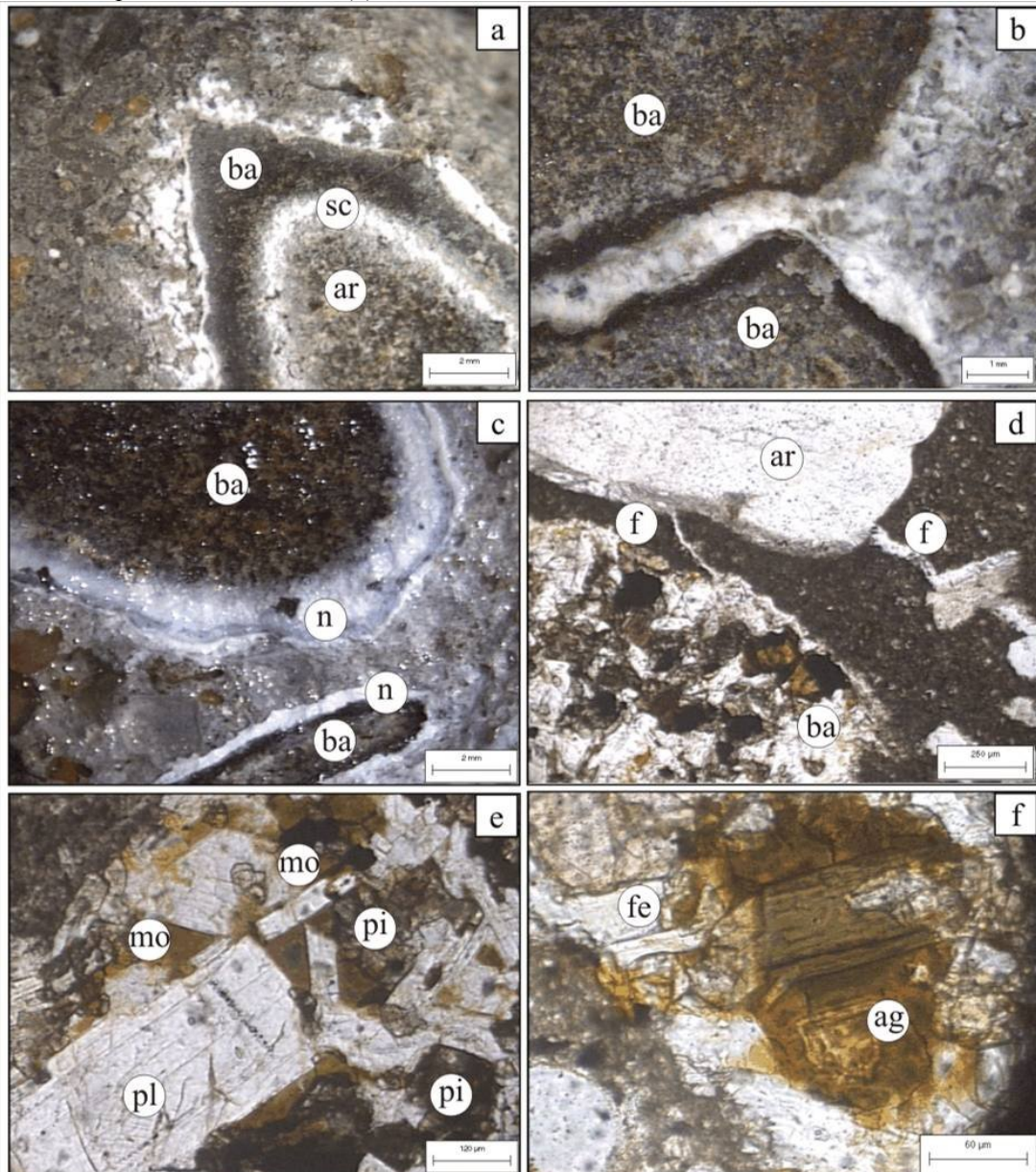


Figura 3. a: mortero obliterado por los productos de neoformación. b: partículas de basalto con un progresivo deterioro de su textura hacia afuera. c: coronas de reacción en las zonas de contacto agregado basáltico – mortero. d: microfisura rellena con minerales de neoformación que afecta a una partícula de basalto y arenisca silícea. e: montmorillonita reemplazando la pasta vítrea del basalto. f: detalle de un sector argilizado en una partícula de basalto.

En los cortes delgados se observó que el agregado basáltico tiene restos de pastas vítreas, con diferente grado de desvitrificación principalmente argilización, los mafitos están parcialmente cloritizados y el feldespato inalterado, solo en los sectores con clivaje, las arcillas se han desarrollado separando los componentes de este mineral. Es frecuente observar en estos sectores, reemplazos por arcillas expansivas, cloritas, celadonita, ceolitas y sílice criptocristalina. Las arenisca silícea aportada por el agregado fino está compuesta por cuarzo, con fuerte deformación (ángulo de extinción ondulante AEO  $\sim 26^\circ$ ) y cemento cripto y policristalino. En el agregado fino, hay desarrollo de coronas de reacción,

microfisuramiento y procesos de bordes, especialmente en las areniscas silíceas. El mortero tiene su textura obliterada y es muy abundante el desarrollo de minerales de neoformación, especialmente ettringita y sílice en sus diferentes variedades.

En la figura 3d muestra una microfisura (f) rellena con minerales de neoformación que afecta a una partícula de basalto (ba) y arenisca silícea (ar). En el basalto se destacan las zonas argilizadas, principalmente montmorillonita (mo). En la figura 3e se muestra el proceso de argilización. El mineral arcilloso que reemplazó a la pasta vítrea del basalto original es saponita (montmorillonita férrica) (mo). En un sector el núcleo de la alteración es celadonita (ce). La andesina (pl) se presenta levemente alterada mientras que los piroxenos (pi) y minerales opacos se presentan desferrizados. La figura 3f corresponde a un detalle de un sector argilizado (ag) de una partícula de basalto. El avance del proceso, debido al aumento de volumen aprovecha los planos de clivaje del feldespato (fe) para invadir los minerales vecinos con los productos de alteración. El piroxeno está débilmente desferrizado. Se presenta abundante sílice criptocristalina y alúminosilicatos. En el mortero hay ettringita

## **CASO 2: AEROPUERTO DE LA CIUDAD DE CORRIENTES**

El aeropuerto se ubica a la vera de la ruta nacional N°12, 5 km al norte de la ciudad de Corrientes. El sector de obra estudiado corresponde al pavimento de la calle de rodamiento que vincula la plataforma de estacionamiento de aviones con la pista. La misma presenta un ancho de 24 metros por 250 metros de largo, conformado por losas de 34 cm de espesor, 4,0 metros de largo y de 3,0 metros de ancho.

### **Relevamiento visual del pavimento**

El relevamiento visual mostró, en el 30% de las losas relevadas, la manifestación de cuadros de fisuración asignables a fenómenos deletéreos característicos de la RAS. Las fisuras asociadas a dichos cuadros presentan en algunos sectores de las losas distribución errática tipo mapa y mientras que en otros sectores las fisuras se orientan preferentemente en dirección longitudinal. En varias de las fisuras se observa la exudación de sustancia de color blanquecino, especialmente en aquellas fisuras próximas a las juntas de contracción. Se observaron también en forma sistemática fisuras tipo mapa, atribuibles a fenómenos de contracción a nivel del mortero de terminación, en la superficie del pavimento. No se observó la presencia de fisuras asignables a fenómenos de contracción plástica. En la figura 4 se muestra un detalle una losa con fisuras debidas a la RAS donde se observan productos de exudación.



Figura 4. Aspecto superficial de una de las losas afectadas por RAS donde se observa el cuadro de fisuración tipo errático desarrollado y testigo extraído con signos evidentes de deterioro

## Propiedades físicas, mecánicas y composición del hormigón

La resistencia a la compresión y módulo de elasticidad correspondiente al ensayo de tres (3) testigos, extraídos en losas o sectores de losas sin signos de deterioro, arrojaron valores promedio de 50,5 MPa y 29,2 GPa respectivamente. Dichos valores son compatibles con las exigencias del proyecto según los antecedentes de la obra. Respecto al contenido de cemento, las determinaciones realizadas sobre los mismos testigos arrojando un valor promedio de 370 kg/m<sup>3</sup>.

En la tabla 2 se muestran los valores promedios, máximos y mínimos de las propiedades físicas y contenidos de agregados determinadas a partir del ensayo de los testigos. Se incluyen en la tabla valores de densidad seca y saturada a superficie seca, pérdida por calcinación, porosidad, absorción en agua y contenidos unitarios de agregados gruesos y finos. Los valores informados corresponden al ensayo de 5 testigos extraídos a lo largo de la obra.

Tabla 2. Propiedades físicas del hormigón y contenido unitario de agregados

Valor	Densidad saturada superficie seca	Absorción	Porosidad	Pérdida por calcinación	Contenido de agregado fino	Contenido de agregado grueso
	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Promedio	2460	5,6	12,9	4,2	858	1082
Máximo	2501	6,8	15,2	5,0	931	1153
Mínimo	2403	4,9	11,7	3,7	796	951

## Descripción petrográfica de los agregados y del hormigón

El agregado grueso está constituido por partículas de piedra partida basáltica de 37,5 mm de tamaño máximo. El 75% son de color gris oscuro, levemente argilizadas y el 25% restante son fragmentos de la misma roca, de color rojizo debido a los procesos de oxidación que la afectaron. El agregado fino es una arena natural cuarzoza en la que se destaca la presencia de calcedonia, areniscas silíceas y areniscas ferruginosas.

La evaluación con microscopía de polarización muestra que el basalto está constituido por fenocristales de augita titanífera y tablillas subhedrales de andesina, minerales opacos, islotes irregulares de sanidina con texturas poikilíticas englobando los minerales originales y agujas muy delgadas de apatito. Están contenidos en una pasta intersertal con vidrio volcánico desvitricado, proceso que generó sílice libre y óxidos de hierro. En las zonas periféricas de las partículas se desarrollan importantes coronas de reacción. El mortero presenta su textura modificada por la presencia de abundante ettringita con calcita subordinada. En los sectores no afectados por el fracturamiento, los minerales de neoformación se concentran principalmente en las cavidades de aire accidental o en los espacios vacíos generados por defectos en la construcción. En las áreas de las fracturas, la cantidad de ettringita es muy importante. Son muy abundantes las coronas de reacción y se desarrollan especialmente en las superficies de fracturas.

En la figura 5a se observa una partícula de basalto (ba) con desarrollo de una importante corona de reacción (cr), la que hacia el interior de la partícula grada a sílice criptocristalina. El agregado grueso se presenta despegado del mortero. Es abundante la ettringita. En la figura 5b se muestra el sector exterior de una partícula de basalto (ba) con ettringita (et) y sílice criptocristalina (si). El mortero (m) en contacto con el basalto está enmascarado por materiales de neoformación (n). Es muy clara la corona de reacción (cr), criptocristalina y compuestos por minerales opacos. Se ha desarrollado una fractura (f) paralela al contorno del basalto pero hay varias menores de hábito radial. En el agregado fino se destacan varias partículas de arenisca ferruginosa. En la figura 5c se observa una partícula de cuarzo (q) con la superficie cubierta por sílice criptocristalina (si). En el mortero (m) se destaca la

presencia de ettringita (et). En la figura 5d se muestra una fractura en una partícula del basalto (ba) tapizada por sílice criptocristalina. En el centro se conservan restos del mortero con abundante ettringita. En la figura 5e se muestra (con luz paralela) una partícula de basalto (ba) muy alterada y una arenisca cuarzosa constituyentes del agregado grueso. El mortero (m) tiene la textura muy modificada y está reemplazado por minerales de neoformación. Se muestra una fractura (f) rellena por minerales de neoformación. El agregado fino está compuesto por cuarzo (q), areniscas cuarzosas (ar) y clastos líticos basálticos. La figura 5f corresponde a una partícula de basalto toleítico (ba) con una gruesa corona de reacción (cr) constituida por una masa de óxidos de hierro, un borde externo de sílice criptocristalina que pone en contacto a la roca con el mortero a través de una fractura rellena por minerales de neoformación. El mortero tiene su textura totalmente modificada. Contiene partículas del agregado fino, principalmente cuarzo (q) y areniscas (ar).

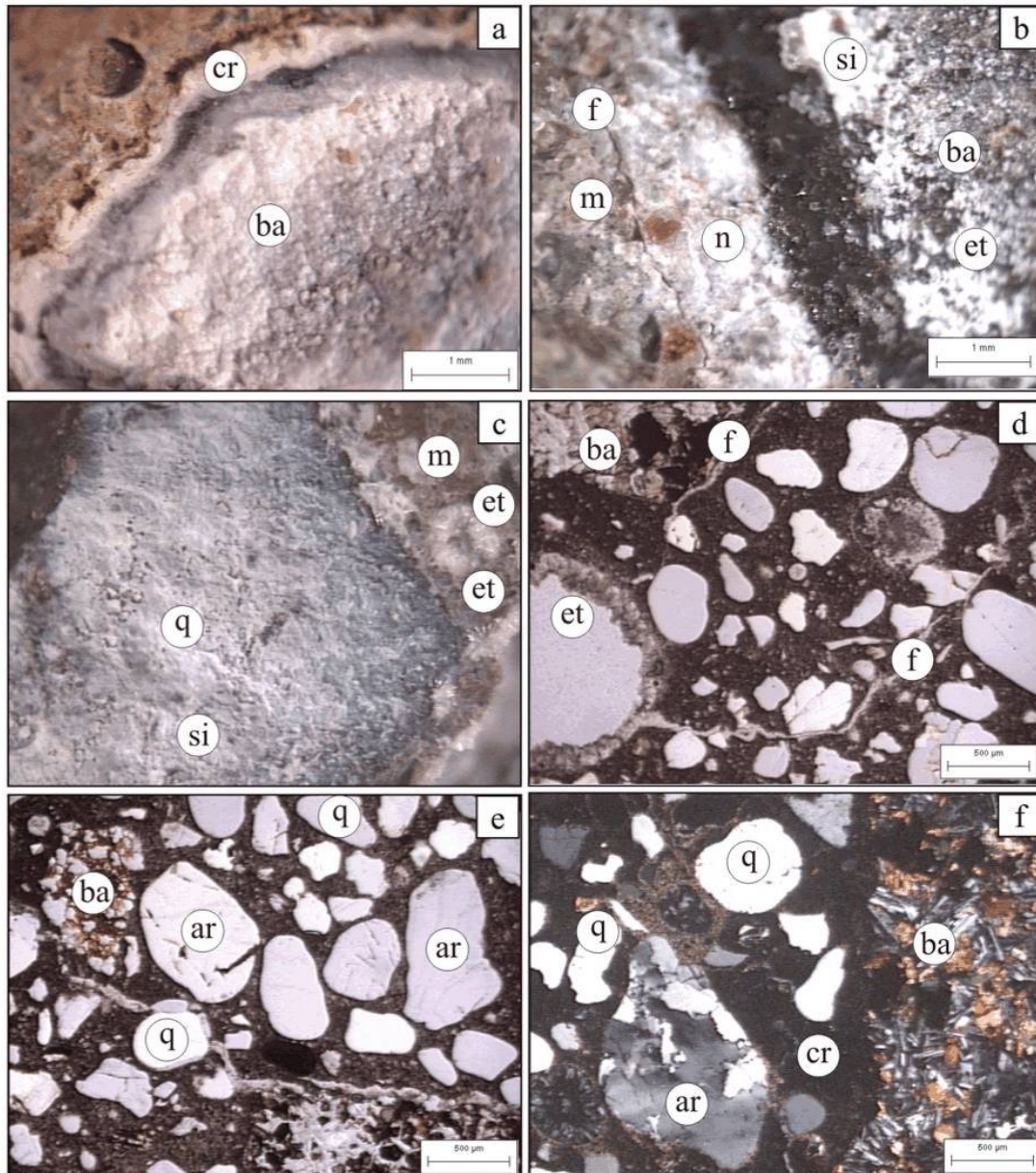


Figura 5. a: Partícula de basalto con desarrollo de corona de reacción. b: Sector exterior de una partícula de basalto con ettringita y sílice criptocristalina. c: Cuarzo con sílice criptocristalina. d: basalto tapizado por sílice criptocristalina. e: basalto muy alterado y mortero con la textura modificada. f: partícula de basalto con corona de reacción y borde externo de sílice criptocristalina.

### **CASO 3: PAVIMENTO URBANO EN LA CIUDAD DE CURUZÚ-CUATIÁ**

La obra corresponde a dos cuadras de pavimento de la calle Perazo entre Posadas y Caaguazú en la ciudad de Curuzú-Cuatiá. El pavimento presenta un ancho total de 7,40 metros, con una junta longitudinal en el centro de la calzada y juntas de contracción cada 5,0 metros, conformando de esta manera losas rectangulares de 3,70 x 5,00 metros y 16 cm de espesor. En correspondencia con las veredas el pavimento presenta cordón de hormigón integrado a la losa. Las losas fueron construidas en el año 1997.

#### **Relevamiento visual del pavimento**

El relevamiento visual mostró manifestaciones severas de fenómenos deletéreos asignables a la RAS en la totalidad de las losas inspeccionadas. Los cuadros de fisuración atribuibles a la RAS se manifiestan con distintos grados de intensidad. Las fisuras se disponen preferentemente en dirección longitudinal abarcando toda la superficie de la losa. En sectores más acotados se observaron fisuras distribuidas en forma errática. En varias de las fisuras se observó la exudación de sustancia de color blanquecino. Superpuesto con las fisuras atribuibles a la RAS se observó la presencia sistemática de fisuras atribuibles a fenómenos de contracción a nivel del mortero de terminación, conformando un patrón de distribución “tipo mapa” en la superficie del pavimento. No se observó la presencia de fisuras asignables a fenómenos de contracción plástica.



Figura 6. Aspecto superficial de dos losas de pavimento afectadas por RAS donde se observa el cuadro de fisuración con desarrollo longitudinal.

#### **Propiedades físicas, mecánicas y composición del hormigón**

Debido al estado de deterioro de las losas no se pudieron extraer testigos para la caracterización de propiedades mecánicas. Respecto al contenido de cemento del hormigón el valor promedio determinado a partir de cuatro (4) muestras ensayadas fue de 353 kg/m<sup>3</sup>.

En la tabla 3 se muestran los valores promedios, máximos y mínimos de las propiedades físicas y contenidos de agregados determinadas a partir del ensayo de los testigos. Se incluyen en la tabla valores de densidad seca y saturada a superficie seca, pérdida por calcinación, porosidad, absorción en agua y contenidos unitarios de agregados gruesos y finos. Los valores informados corresponden al ensayo de 5 testigos extraídos a lo largo de la obra.

Tabla 3. Propiedades físicas del hormigón y contenido unitario de agregados

Valor	Densidad saturada superficie seca	Absorción	Porosidad	Pérdida por calcinación	Contenido de agregado fino	Contenido de agregado grueso
	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Promedio	2529	4,2	10,3	4,2	807	1226
Máximo	2553	5,3	12,4	4,7	958	1290
Mínimo	2472	3,4	8,4	3,8	750	1111

### Descripción petrográfica de los agregados y del hormigón

El agregado grueso está constituido por partículas de piedra partida basáltica de 19 mm de tamaño máximo son vulcanitas de color gris oscuro, argilizadas y débilmente desferrizadas. El agregado fino es una arena natural, compuesta principalmente por cuarzo, areniscas silíceas, areniscas ferruginosas y calcedonia.

El hormigón presenta un fracturamiento intenso, con sulfatos y carbonatos que rellenan el volumen. Las fisuras horizontales producen un desprendimiento en placas paralelas. Es frecuente observar partículas del basalto fracturadas. Esto favoreció la precolación del agua y provocó lixiviación de sectores generando cavidades, en general vacías, pero a veces están rellenas o tapizadas por minerales de neoformación (ettringita y sílice criptocristalina). En torno a las partículas de basalto se observan abundantes coronas de reacción.

En la figura 7a se muestra dos partículas de basalto (ba) muy argilizadas que desarrollan claras coronas de reacción (cr). Hacia el interior se presenta una zona blanquecina con abundante sílice criptocristalina (si). El mortero está totalmente enmascarado por la presencia de minerales de neoformación. En la figura 7b se muestra una arenisca ferruginosa (af) con matrix de calcedonia. Es abundante la ettringita (et). En el mortero se destacan clastos de areniscas silíceas, cuarzo y cavidades de aire accidental parcialmente rellenas. La figura 7c muestra dos partículas de basalto (ba). La de la izquierda presenta una zona de disolución con precipitación en las cavidades de minerales de neoformación, especialmente sílice criptocristalina (si). La de la derecha ha desarrollado una importante corona de reacción (cr). El mortero ha sido totalmente obliterado por la precipitación de ettringita y sílice criptocristalina.

La evaluación con microscopía de polarización muestra que las partículas de basalto toelítico presentan importante desvitrificación de sus pastas, generando minerales arcillosos del grupo de la montmorillonita. El feldespatos (andesina) y el mafito (augita titanífera) se presentan relativamente estables. La arena está compuesta principalmente por cuarzo, en general con extinción ondulante, calcedonia, areniscas cuarzosas y silíceas, algunas con matrix de sílice criptocristalina. Son abundantes las especies minerales de neoformación que rellenan las cavidades de aire accidental y las fracturas que generaron los procesos de deterioro que se desarrollaron en el hormigón.

El mortero presenta su textura totalmente obliterada. Se observó abundante carbonatos, sulfatos, sílice criptocristalina y material amorfo. Son frecuentes los fenómenos de degradación en las zonas periféricas, desarrollando coronas de reacción, desprendimientos de su masa y fisuramiento. Se reconocieron partículas de areniscas cuarzosas con matrix silíceas y arcillosas, a veces teñidas parcialmente por óxidos de hierro y por calcedonia. Estas partículas son aportadas por el agregado fino.

En la figura 7d se muestra una arenisca silícea de grano fino (as) con corona de reacción, bordes corroídos, con desarrollo de importantes fracturas (f). El otro clasto es de calcedonia (cl) con su zona periférica modificada por los procesos de reacción. En el agregado fino se reconoció cuarzo (q),

calcedonia (cl), areniscas cuarzosas (ar), contenidos en un mortero con importantes perturbaciones texturales. En la figura 7e se observa una partícula de sílice criptocristalina (si). Ha desarrollado una corona de reacción (cr) discontinua. En el mortero (m) se puede reconocer una fractura (f). En la figura 7f se muestra una vesícula del basalto (ba) rellena por sílice criptocristalina (si) y calcedonia.

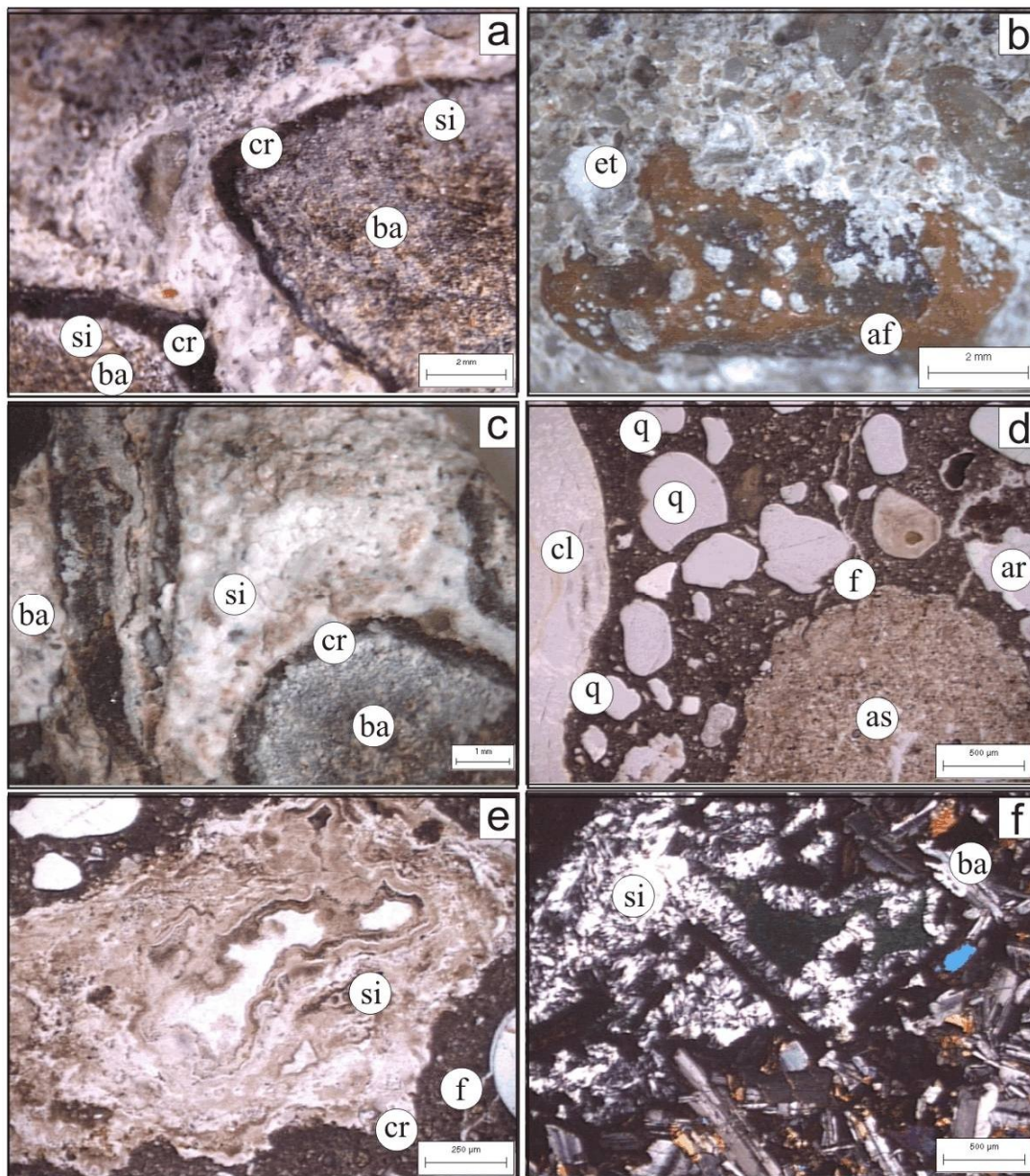


Figura 7. a: partículas de basalto argilizadas que desarrollan claras coronas de reacción. b: arenisca ferruginosa con matrix de calcedonia. c: basalto con desarrollo de minerales de alteración. d: arenisca silicea de grano fino con corona de reacción. e: clasto de sílice criptocristalina. En el mortero se puede reconocer una fractura. f: vesícula del basalto rellena por sílice criptocristalina y calcedonia.

## CONCLUSIONES

En el trabajo se han presentado tres obras de pavimento, emplazadas en la provincia de Corrientes, construidas con hormigones elaborados con agregado grueso basáltico, que presentan manifestaciones

deletéreas severas debido a la reacción álcali agregado, RAA. Los estudios realizados permiten establecer las siguientes conclusiones:

- Los agregados gruesos basálticos de la Mesopotamia, con características petrográficas similares a los empleados en las obras estudiadas, son capaces de reaccionar con los álcalis del cemento produciendo fenómenos deletéreos de magnitud suficiente como para afectar seriamente la integridad estructural y la durabilidad de los pavimentos de hormigón.
- La evaluación microscópica de los hormigones ha permitido establecer, que si bien se observaron signos de RAA en partículas de areniscas silíceas cementadas con sílice criptocristalina y de calcedonia presentes en el agregado fino, las mismas no resultaron ser de carácter deletéreo para la integridad estructural del hormigón.
- Asociados con la RAA se pudieron identificar como productos de neoformación, ettingita, sílice amorfa a pobremente cristalina y aluminosilicatos (estructuras ceolíticas).
- El estudio realizado pone en evidencia la necesidad de aplicar medidas de control o inhibición de la RAA cuando se empleen agregados basálticos mesopotámicos en la elaboración de hormigones para pavimentos.
- En las obras estudiadas no se han identificado manifestaciones patológicas preexistentes a la RAA, tales como fisuras por contracción plástica, contracción por secado, o acción de las cargas, que pudieran ser consideradas como factores desencadenantes de la RAA.

### **Agradecimientos**

A la Dirección Nacional de Vialidad por el financiamiento de los trabajos realizados en el marco del Proyecto de Investigación “Control de la reacción álcali agregado en hormigones elaborados con agregados basálticos de la mesopotámia Argentina destinado a obras viales de hormigón”

A la Fac. de Cs. Exactas de la UNLP, al Dpto. de Geología de la UNS, a la CIC de la Provincia de Buenos Aires y al CONICET por el apoyo brindado.

### **Referencias**

1. Iriondo M.; Krohling, D. 2008. Cambios climáticos en la cuenca del río Uruguay. UNLitoral. Eds UNL.
2. Turner, S.; Regelous, M.; Kelley, S.; Hawkesworth, C.; Mantovani, M., 1994. magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology. *Herat and Planetary Science Letters* 121:333-348.
3. Marfil, S.; Batic, O.; Maiza, P.; Grecco, L. y Falcone, D. (2010). 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 . 6 pag
4. Milanesi, C. A., Souza, E., Marfil, S., Maiza, P. (2008) 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. III Congreso Internacional y 17ª Reunión Técnica de la AATH. Córdoba. 273-280.