

## EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DEL EXAMEN PETROGRÁFICO DE ARENAS EN LA DETECCIÓN DE AGREGADOS REACTIVOS

F. Locati<sup>1</sup>, P. Maiza<sup>2</sup>, S. Marfil<sup>2,3</sup>, J. Murra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CICTERRA (CONICET - UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, (X5016GCA) Córdoba. flocati@efn.uncor.edu, jmurra@efn.uncor.edu

<sup>2</sup>Dpto. de Geología – UNS. San Juan 670, (8000) Bahía Blanca. pmaiza@uns.edu.ar, smarfil@uns.edu.ar

<sup>3</sup>CIC de la Provincia de Buenos Aires – INGEOSUR.

**Palabras claves:** Arenas, examen petrográfico, RAA.

### RESUMEN

Se realizó el estudio petrográfico de una arena natural silícea proveniente del río Paraná, con el propósito de evaluar la incidencia de la experiencia del petrógrafo en la detección de materiales potencialmente reactivos trabajando con grano suelto. Para ello se tamizó la muestra según lo establecido en la norma IRAM 1649. El retenido en cada fracción se dividió en cuatro partes. Cada cuarto fue analizado por un petrógrafo diferente con distinta experiencia en el análisis litológico sobre grano suelto. Se calculó la composición del material retenido en cada tamiz y la composición en la muestra total ponderada según su abundancia (0,4 % - #10; 1,2 % - #18; 12,4 % - #30; 79,4 % - #60; 6,0 % - #100 y 0,6 % - < #100). Considerando que casi el 80 % en peso de la muestra se encuentra en el retenido #60, y por lo tanto este análisis será el que tenga mayor influencia en el cálculo de la composición total, se impregnó la arena en resina y se determinó el porcentaje de cada litología mediante conteo sobre un corte delgado para comparar los resultados con los obtenidos con grano suelto. Se puso especial énfasis en los materiales potencialmente reactivos como es el caso de la calcedonia, que aún en muy baja proporción y un error de estimación < 1 % puede modificar la calificación entre inocuo o potencialmente reactivo. Con los resultados obtenidos, se evaluó la incidencia de la experiencia de los petrógrafos en la precisión de las determinaciones.

### INTRODUCCIÓN

A partir de los primeros trabajos de Stanton (1, 2), se han llevado a cabo numerosas investigaciones a fin de diseñar métodos simples, rápidos y reproducibles para establecer la susceptibilidad de las rocas en producir reacciones del tipo álcali-agregado (RAA). La sílice criptocristalina o amorfa (ópalo, tridimita, cristobalita, calcedonia) y el vidrio volcánico reaccionan de forma rápida mientras que las rocas que contienen cuarzo tensionado se califican como de reacción lenta/diferida. Los primeros trabajos que estudiaron la reactividad de estas últimas (3-5) revelaron que las rocas que contenían cuarzo con defectos en su estructura cristalina se podían comportar como agregados potencialmente reactivos. Estudios posteriores

propusieron otro punto de vista para abordar la problemática, focalizando las observaciones principalmente en las características microestructurales y texturales de las rocas más que en sus composiciones minerales y nomenclaturas petrográficas (6-10).

El estudio petrográfico de arenas en Argentina, se realiza según las especificaciones de la norma IRAM 1649 (11) que establece que a las muestras se las debe tamizar y analizar la composición petrográfico-mineralógica del material retenido en cada tamiz. Para ello se utiliza lupa binocular y se agrupan los diferentes componentes en familias de rocas o minerales. La norma indica que para las arenas se deben contar 500 partículas por cada fracción para tamaños mayores que 600 µm. Para tamaños menores que 600 µm no se especifica el número exacto de partículas a contar. También debe evaluarse la presencia de recubrimientos superficiales de materiales que puedan ser perjudiciales para el hormigón (ópalo, sales solubles, materia orgánica, etc.). Cuando la identificación es dificultosa, se debe emplear el microscopio petrográfico, en especial para fracciones más finas que 300 µm y cuando se sospecha la presencia de materiales deletéreos tales como vidrio volcánico.

Por otra parte, la norma IRAM 1512 (12) establece que el agregado que se utilice en hormigones y morteros, y que estará en contacto con agua (en forma permanente o periódica), suelos húmedos o atmósferas con humedad relativa superior al 60 %, debe ser analizado desde el punto de vista de la reacción álcali-agregado. Para ello, una vez identificados los componentes potencialmente reactivos según la norma IRAM 1649, se deben tener en cuenta los límites máximos establecidos según el siguiente detalle: cuarzo tensionado, microfracturado o microcristalino 5 %, ftanita (chert) y/o calcedonia con trazas de ópalo incluidas en su masa 3 %, tridimita y/o cristobalita 1 %, ópalo 0,5 %, vidrio volcánico contenido en rocas volcánicas 3 %. Además, según la norma, cuando el agregado tenga dos o más de estos componentes, el material debe considerarse potencialmente reactivo, independientemente del contenido en el que se hallen presentes. Es importante destacar que éste último párrafo ha sido incorporado recientemente, no estando presente en la versión de 2006 (13). En el mismo sentido, en la última versión de 2012 (12) se ha eliminado a las arcillas del tipo esmectitas contenida en la masa de basaltos (2 %) de la lista de materiales reactivos y se disminuyó el porcentaje de humedad relativa de 80 a 60 %, entre otros cambios.

Si se tienen en cuenta estos porcentajes máximos, es posible observar que algunos materiales como el ópalo, aún en contenidos muy bajos (0,5 %), tornan a la mezcla de agregados como potencialmente reactiva. Es decir que solo identificar 1 partícula entre 200, califica al agregado como deletéreo. Por otra parte, algunos de los minerales mencionados (cuarzo tensionado) son muy difíciles de determinar usando lupa binocular o microscopio petrográfico sobre grano suelto, ya que la reactividad depende del grado de deformación, recristalización, etc., para lo cual es necesario observar la partícula mediante microscopio petrográfico sobre un corte delgado. Estos componentes, calificados como de reacción lenta, son comunes en arenas formadas a partir de la meteorización de rocas metamórficas que son muy abundantes en ciertas regiones del país, entre las que se puede mencionar a la provincia de Córdoba (14). También resulta dificultosa la identificación de vidrio volcánico en las pastas de las rocas volcánicas con texturas afaníticas si no se recurre al corte delgado. Estos materiales son constituyentes abundantes en las arenas del sur de la provincia de Buenos Aires y en todo el territorio de la Patagonia. En algunos casos constituyen alrededor del 50 % en peso del total de la muestra (15). Por ello resulta necesario realizar un análisis de los resultados obtenidos en los estudios petrográficos considerando el tipo de litologías presentes, en especial las especies deletéreas que aún en muy bajos porcentajes toman al agregado no apto para su utilización en hormigón.

La norma RILEM AAR-1 (16) menciona que el examen petrográfico debe ser realizado por un petrógrafo que además tenga experiencia en RAA, y califica a los agregados en función de su potencial reactividad como: clase I: muy poco probable que sea álcali-reactivo; clase II: reactividad alcalina incierta; y clase III: muy probable que sea álcali-reactivo. El estudio puede hacerse sobre partículas mediante lupa de mano o estereomicroscopio, o sobre secciones delgadas mediante microscopio petrográfico, preferentemente por conteo de puntos. El número de partículas a contar en este último caso es elevado y aumenta a medida que disminuye el tamaño de grano (~1500 partículas <2mm, ~800 partículas 1-2mm, y ~150 partículas entre 2 y 4mm). La cantidad mínima de material a ser analizada depende del contenido de especies deletéreas presentes (expresado en % en volumen). Considera la caracterización a nivel regional del material y su comportamiento en obra, ya que la aceptación y diferencias de calificación de los distintos materiales reactivos varían según cada país. Esta norma no habla de límites máximos por material, sino que dependiendo de la experiencia del comportamiento de cada roca se establecen para cada caso. Por ejemplo, si localmente la presencia de 20 % en volumen de arenisca torna al material potencialmente reactivo, y el agregado en estudio tiene más del 20 % en volumen de esa roca, debe calificarse como reactivo.

La norma ASTM C295 (17) establece que se deben contar un número mínimo de 150 partículas en cada fracción. Además establece que el petrógrafo que realice el análisis debe tener una experiencia mínima de 5 años en agregados para hormigón.

La norma ASTM C33 (18) indica el porcentaje máximo de sustancias deletéreas que pueden contener los agregados finos para hormigón. En ellas se incluyen: carbón, arcillas y partículas friables, chert y sulfato de magnesio. El contenido permitido varía según el ambiente al que estará expuesto el hormigón. En referencia a la RAA, menciona que cuando el hormigón estará expuesto a humedad, no podrá contener ningún material que se comporte como potencialmente reactivo con los álcalis del cemento en cantidad suficiente para causar excesiva expansión del mortero u hormigón, excepto si se utiliza un cemento con menos de 0,60 % de álcalis (calculado como sodio equivalente:  $\text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O}$ ), si hay registros que el material tiene buen comportamiento en servicio, o si con la adición de algún material se previene la expansión debido a RAA. Sin embargo, no establece límites máximos para el contenido de materiales individuales.

Con el propósito de evaluar la incidencia de la experiencia del petrógrafo en la detección de materiales potencialmente reactivos, en el presente trabajo se realizó un estudio petrográfico de una arena natural silíceo proveniente del río Paraná, trabajando con grano suelto y se compararon los resultados con los obtenidos a partir del estudio sobre secciones delgadas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se trabajó con una arena natural silíceo proveniente del río Paraná. Se realizó el estudio petrográfico según lo establecido en la norma IRAM 1649 (2008) (11), para lo que se utilizó un estereomicroscopio Olympus SZ-CTV y un microscopio petrográfico Olympus B2-UMA.

La muestra se tamizó utilizando tamices IRAM #10; #18; #30; #60; #100 y < #100. El retenido en cada fracción se dividió en cuatro partes. Cada cuarto fue analizado por un petrógrafo diferente con distinta experiencia en el análisis litológico sobre grano suelto, denominados: A, B, C y D. El petrógrafo B es el más experimentado en la identificación de este tipo de materiales en grano suelto.

Debido a que luego del cuarteo los granos de arena mayores que 600 µm no alcanzaban las 500 partículas, se optó por el conteo de 150 como prescribe la ASTM C295. Para las fracciones más finas (< 600 µm), al no estar especificado en la norma y para que los datos sean comparables, se contó la misma cantidad de partículas que las fracciones mayores (150).

De la fracción más abundante (retenido #60), se preparó una pastilla con resina epoxi y se realizó un corte delgado a fin de comparar los resultados con los obtenidos en el estudio sobre grano suelto mediante estereomicroscopio.

Los resultados se expresaron en una tabla sumando el número total de partículas en % en cada fracción de tamiz. Luego se obtuvieron los porcentajes por pesada de la fracción sobre tamiz en el total de la muestra y se calcularon los porcentajes de constituyentes ponderados en la fracción de tamiz, multiplicando el porcentaje del constituyente por el porcentaje de la fracción sobre tamiz en toda la muestra. De esta manera, se obtuvo el porcentaje ponderado de cada constituyente en cada fracción de tamiz.

## RESULTADOS

En las tablas 1, 2, 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos por los petrógrafos A, B, C y D respectivamente. El 79 % en peso del total de la muestra corresponde al material retenido en el tamiz #60. Se puede observar que si bien existen diferencias en el análisis individual del retenido en cada tamiz, la composición ponderada de la muestra total determinada por los cuatro petrógrafos es similar. Estas diferencias se deben, principalmente a que las areniscas son en su mayoría cuarzosas (granos de cuarzo cementados por sílice) y pueden contarse como cuarzo en grano suelto. En las observaciones realizadas con lupa binocular, las areniscas predominan en la fracción de mayor tamaño (que representa solo el 0,4 % en peso de la muestra total) ya que a medida que el tamaño disminuye, por erosión se transforman en granos de cuarzo individuales o son muy difíciles de observar. Sin embargo en el análisis del material retenido en el tamiz #60 realizado sobre secciones delgadas se determinó un contenido de areniscas mucho mayor (16 %). Si se suma este porcentaje al cuarzo (79 %) da un total de 95 % similar al obtenido por los 4 petrógrafos en la muestra total para este mineral (tabla 5).

También se observa que ninguno de los petrógrafos determinó feldespato o rocas graníticas. Estas últimas en general se observan en las fracciones más gruesas ya que en las más finas aparece como minerales individuales (cuarzo, feldespato, micas). Una variación en la determinación de estas especies no afecta la calificación del material ni su aptitud para ser utilizado en hormigón. Pero debe ponerse especial atención en la determinación de especies que, aún en muy baja proporción, toman al agregado como “no apto” como es el caso de la calcedonia. Si bien en ninguna de las 4 determinaciones el contenido de calcedonia supera el 5 % por lo que todos califican al material como apto, existe una gran variación en el contenido determinado por los diferentes petrógrafos (0,6 %; 1,3 %; 1,6 % y 3,9 % en la muestra total y 0,5 %; 0,5 %; 1,3 %; 3,5 % en el retenido #60)). El contenido determinado sobre el corte delgado (retenido #60) es de 0,3 %.

Por lo expuesto se recomienda la realización de al menos un corte delgado del material de la fracción más abundante a fin de identificar las especies que son deletéreas aún en muy baja proporción. Lo mismo ocurre con las rocas volcánicas ya que es muy difícil determinar el contenido de vidrio en las pastas de estas rocas sobre grano suelto mediante lupa binocular. La variación en el contenido de rocas volcánicas en este estudio se debe a que algunos petrógrafos contaron como rocas volcánicas lo que otros incluyeron como minerales opacos.

Tabla 1: Composición petrográfica de la arena determinada por el petrógrafo A

Composición de fracciones retenidas en tamices IRAM indicados							
Porcentaje individual retenido en el tamiz IRAM	10	18	30	60	100	<100	
Constituyentes	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Cuarzo	43,5	81,0	90,0	95,0	94,5	86,5	
Areniscas	15,5	4,0	2,5	1,0	1,5	3,0	
Terrones blandos	23,0	2,5	0,5	0,5	2,0	0,0	
Biolitos	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Materia orgánica	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Calcedonia	8,0	12,5	7,0	3,5	0,0	1,5	
Rocas volcánicas	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Minerales opacos	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	7,5	
Micas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	
TOTALES	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Constituyentes	% de constituyentes ponderados en cada fracción de tamiz IRAM						% ponderado
	10	18	30	60	100	<100	
Cuarzo	0,2	1,0	11,2	75,6	5,7	0,5	94,2
Areniscas	0,1	<0,1	0,3	0,8	0,1	<0,1	1,3
Terrones blandos	0,1	<0,1	0,1	0,4	0,1	0,0	0,7
Biolitos	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,1
Calcedonia	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,1
Rocas volcánicas	<0,1	0,2	0,9	2,8	0,0	<0,1	3,9
Minerales opacos	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,1
Micas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	<0,1	0,1
Total en la fracción de tamiz	0,4	1,2	12,4	79,4	6,0	0,6	100,0

Tabla 2: Composición petrográfica de la arena determinada por el petrógrafo B

Composición de fracciones retenidas en tamices IRAM indicados							
Porcentaje individual retenido en el tamiz IRAM	10	18	30	60	100	<100	
Constituyentes	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Cuarzo	71,0	88,5	94,0	97,5	95,5	93,0	
Areniscas	5,0	5,0	3,5	1,5	3,0	4,5	
Terrones blandos	17,5	3,5	1,0	0,5	0,0	0,0	
Biolitos	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Materia orgánica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Calcedonia	2,5	1,5	0,5	0,5	0,5	0,0	
Minerales opacos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	
Micas	1,5	1,0	1,0	0,0	1,0	1,5	
TOTALES	100	100	100	100	100	100	
Constituyentes	% de constituyentes ponderados en cada fracción de tamiz IRAM						% ponderado
	10	18	30	60	100	<100	
Cuarzo	0,3	1,1	11,7	77,4	5,7	0,5	96,7
Areniscas	<0,1	0,1	0,4	1,2	0,2	<0,1	1,9
Terrones blandos	0,1	<0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	0,6
Biolitos	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,1
Calcedonia	<0,1	<0,1	0,1	0,4	<0,1	0,0	0,6
Minerales opacos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,1	<0,1
Micas	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	0,1	<0,1	0,2
Total en la fracción de tamiz	0,4	1,2	12,4	79,4	6,0	0,6	100,0

Tabla 3: Composición petrográfica de la arena determinada por el petrógrafo C

Composición de fracciones retenidas en tamices IRAM indicados							
Porcentaje individual retenido en el tamiz IRAM	10	18	30	60	100	<100	
	0,4	1,2	12,4	79,4	6	0,6	
Constituyentes	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Cuarzo	63,4	82,0	96,0	94,7	93,3	86,7	
Areniscas	20,7	4,0	0,7	0,7	0,0	0,7	
Biolitos	2,8	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
Calcedonia	7,6	4,7	2,0	1,3	2,7	1,3	
Rocas volcánicas	4,1	4,7	0,7	2,7	4,0	9,3	
Minerales opacos	1,4	2,0	0,0	0,7	0,0	2,0	
Micas	0,0	1,3	0,7	0,0	0,0	0,0	
TOTALES	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Constituyentes	% de constituyentes ponderados en cada fracción de tamiz IRAM						
	10	18	30	60	100	<100	% ponderado
Cuarzo	0,3	1,0	11,9	75,2	5,6	0,5	94,4
Areniscas	0,1	<0,1	0,1	0,5	0,0	0,0	0,7
Biolitos	<0,1	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Calcedonia	<0,1	0,1	0,2	1,1	0,2	0,0	1,6
Rocas volcánicas	<0,1	0,1	0,1	2,1	0,2	0,1	2,6
Minerales opacos	<0,1	<0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,6
Micas	0,0	<0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Total en la fracción de tamiz	0,4	1,2	12,4	79,4	6,0	0,6	100,0

Tabla 4: Composición petrográfica de la arena determinada por el petrógrafo D

Composición de fracciones retenidas en tamices IRAM indicados							
Porcentaje individual retenido en el tamiz IRAM	10	18	30	60	100	<100	
	0,4	1,2	12,4	79,4	6	0,6	
Constituyentes	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Cuarzo	62,8	84,0	96,7	98,0	98,7	89,3	
Areniscas	20,0	8,7	0,0	0,0	0,0	1,3	
Terrones blandos	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	
Biolitos	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Calcedonia	5,5	2,0	0,7	0,0	0,0	1,3	
Rocas volcánicas	6,2	3,3	2,0	2,0	1,3	8,0	
Minerales opacos	1,4	1,3	0,7	0,0	0,0	0,0	
TOTALES	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
Constituyentes	% de constituyentes ponderados en cada fracción de tamiz IRAM						
	10	18	30	60	100	<100	% ponderado
Cuarzo	0,3	1,0	12,0	77,8	5,9	0,5	97,5
Areniscas	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	<0,1	0,2
Terrones blandos	0,0	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,1
Biolitos	<0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,1
Calcedonia	<0,1	<0,1	0,1	0,0	0,0	<0,1	0,1
Rocas volcánicas	<0,1	<0,1	0,2	1,6	0,1	<0,1	2,0
Minerales opacos	<0,1	<0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Total en la fracción de tamiz	0,4	1,2	12,4	79,4	6,0	0,6	100,0

En la figura 1a se muestra el material retenido en el tamiz #60 mediante estereomicroscopio. Se observa un predominio de cuarzo la mayoría limpio aunque algunas partículas están teñidas por óxidos de hierro. La figura 1b corresponde a un corte delgado de la

misma fracción que la figura 1a, donde se observa una partícula de forma irregular de calcedonia levemente teñida por óxidos de hierro. El resto son granos de cuarzo redondeados.

Tabla 5: Porcentaje de los constituyentes en el material retenido #60, determinado sobre microscopio petrográfico sobre secciones delgadas.

Constituyentes	% retenido # 60
Cuarzo	79
Areniscas silíceas	16
Areniscas ferruginosas	3
Feldespatos y rocas graníticas	1
Calcedonia	0,33
Minerales opacos	0,5

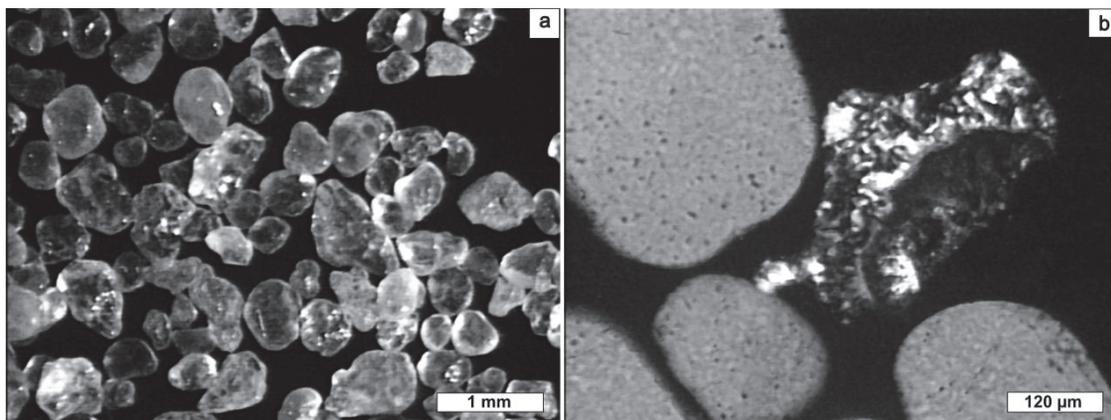


Figura 1: Material retenido en el tamiz # 60 mediante estereomicroscopio (a) y microscopio óptico de polarización (b) sobre sección delgada (nicoses cruzados).

## CONCLUSIONES

- El petrógrafo más experimentado (B) obtuvo resultados próximos a los determinados en el corte delgado debido a su mejor entrenamiento.
- Cuando no se tiene alta experiencia en la observación de minerales y rocas en grano suelto debe recurrirse a la preparación de cortes delgados, en especial en aquellas fracciones que representan un alto porcentaje de la muestra, debido a su alto impacto en cálculo ponderado de los porcentajes finales.
- Las fracciones minoritarias no tienen gran incidencia en los resultados por lo que el conteo de un gran número de partículas no modificaría sustancialmente el resultado final.
- Es necesario establecer criterios claros para agrupar familias de rocas, en especial cuando éstas puedan contener especies deletéreas como es el caso del cemento silíceo en las areniscas, ya que el agrupamiento de partículas macroscópicamente similares podría provocar una subestimación del porcentaje real del material perjudicial.
- La presencia de componentes muy reactivos puede ser nociva aún cuando se presenten en muy baja proporción. Esto, sumado a que las adherencias o crustificaciones superficiales en las partículas puede dificultar la determinación en grano

suelto, obliga a realizar estudios de mayor detalle como los petrográficos sobre secciones delgadas.

- A pesar de las variaciones individuales, los resultados de la composición total de la muestra ponderada obtenidos por los 4 petrógrafos son similares.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CICTERRA (CONICET - UNC), al Dpto. de Geología de la UNS - INGEOSUR y a la CIC de la Prov. de Bs. As., por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS

- (1) Stanton T.E. "Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate". Proceedings of the American Society of Civil Engineers 66 (10), (1940), pp. 1781-1811.
- (2) Stanton T.E. "Influence of Cement and Aggregate on Concrete Expansion". Engineering News-Record 124 (5), (1940), pp. 59-61.
- (3) Mielenz R.C. "Petrographic examination of concrete aggregate". ASTM Proceedings 54, (1954), pp. 1188-1218.
- (4) Mielenz R.C. "Petrographic Examination of Concrete Aggregate to Determine Potential Alkali-Reactivity". Highway Research Report 18-C, Highway Research Board, National Research Council, Washington D.C., (1958), pp. 29-38.
- (5) Brown L.S. "Some observations on the mechanics of alkali-aggregate reaction". ASTM Bulletin 205, (1955), pp. 40-56.
- (6) Gogte B.S. "An evaluation of some common Indian rocks with special reference to alkali-aggregate reactions". Engineering Geology 7 (2), (1973), pp.135-153.
- (7) French W.J. "Concrete petrography: a review". Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 24 (1), (1991), pp. 17-48.
- (8) Grattan-Bellew P.E. "Microcrystalline quartz, undulatory extinction and the alkali-silica reaction". En: Poole A.B. (Ed.), Proceedings of the 9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, vol. 1, London, (1992), pp. 383-394.
- (9) Wigum B.J., Lindgård J. "Test methods for alkali aggregate reactions in Norwegian aggregates: petrographic examination and the South African NBRI Mortar-Bar Test". En: Malhotra V.M. (Ed.), Durability of Concrete, Proceedings of the 3rd International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, ACI SP-145, Nice, France, (1994), pp. 781-796.
- (10) Wigum B.J. "Examination of microstructural features of Norwegian cataclastic rocks and their use for predicting alkali-reactivity in concrete". Engineering Geology 40 (3-4), (1995), pp. 195-214.
- (11) IRAM 1649. "Examen petrográfico de agregados para hormigón" IRAM, (2008), 15 p.
- (12) IRAM 1512. "Agregado fino para hormigón de cemento", IRAM, (2012), 23 p.
- (13) IRAM 1512. "Agregado fino para hormigón de cemento", IRAM, (2006), 16 p.
- (14) Locati F., Marfil S., Batic O., Baldo E. "Rocas de las Sierras de Córdoba como agregados para hormigón. Comportamiento frente a la reacción álcali-sílice (RAS)". Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 24, (2010), pp. 13 -24.
- (15) Marfil S., Maiza P. "Agregados de la provincia de Buenos Aires". Capítulo 4. En: Agregados pétreos de las Provincias de Buenos Aires y Córdoba. Editorial ASAGAI, (2011), pp.25-66.
- (16) Sims I., Nixon P. "RILEM Recommended Test Method AAR-I. Detection of potential alkali-reactivity of aggregates - Petrographic method". Materials and Structures 36, (2003), pp. 480-496.
- (17) ASTM C295 "Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete". American Standard Test Method, (2012), 9 p.
- (18) ASTM C33. "Standard Specification for Concrete Aggregates", American Standard Test Method, (2011), 11p.