

## IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS TEXTURAL DE LAS ROCAS EN LA EVALUACIÓN DE SU COMPORTAMIENTO FRENTE A LA RAS Y SU RELACIÓN CON EL MÉTODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO Y EL PRISMA DE HORMIGÓN.

Coelho dos Santos Gabriela<sup>1</sup>, Falcone Darío<sup>1</sup> y Marfil Silvina<sup>2</sup>

1 LEMIT-CIC de la Prov. de Bs. As., calle 52 e/ 121 y 122, La Plata, gabys\_geo17@yahoo.com.ar

2 CIC de la Prov. de Bs. As., Dpto. de Geol. UNS, San Juan 670, Bahía Blanca, smarfil@uns.edu.ar

**Palabras clave:** petrografía, textura, reacción álcali-agregado, ensayos normalizados.

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudiaron las características petrográficas de tres tipos de roca utilizadas frecuentemente como agregados en la Provincia de Buenos Aires: una migmatita de la zona de Tandil, una milonita de Azul y dos ortocuarcitas de Mar del Plata. Desde el punto de vista de la reacción álcali-sílice (*RAS*), estas rocas son consideradas agregados de reacción lenta debido a la presencia de cuarzo tensionado. Los valores de expansión medidos con el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) superan el límite de 0,100% en todos los casos. Con el método del prisma de hormigón (IRAM 1700), la milonita evidencia una expansión al año de 0,106% mientras que la migmatita sólo de 0,051%; en tanto que las ortocuarcitas muestran diferencias importantes en los valores de expansión (entre 0,052% y 0,022%). La mineralogía de la milonita y la migmatita son similares, presentan cuarzo tensionado como componente principal; en la primera, la textura es porfiroclástica y el cuarzo forma un mortero de grano fino que rodea a porfiroclastos de feldespato y anfíbol; en la migmatita el cuarzo es de mayor tamaño, con incipiente grado de recristalización en el contacto con granos de feldespato fuertemente alterado, micas (biotita y clorita) y/o anfíboles. Las cuarcitas mantienen su homogeneidad composicional (+ de 90% cuarzo), aunque la textura es variable. Algunas son compactas, con sílice microcristalina y recristalizada como material cementante de granos, mientras que otras presentan una textura abierta con caolinita en los espacios intergranulares.

Los resultados obtenidos en los ensayos físicos son coherentes con las variaciones texturales. La milonita de textura fina es más reactiva que la migmatita, mientras que la ortocuarcita con sílice microcristalina se califica como reactiva, a diferencia de aquella con pseudo-matriz arcillosa.

### INTRODUCCIÓN

En Argentina, el examen petrográfico de agregados para hormigón se realiza según lo establecido en las normas IRAM 1649 y 1531 (1, 2). La primera establece que se deben examinar las condiciones físicas y sus variaciones de tenacidad, dureza, coherencia, porosidad, tamaño de grano, textura, tipos de fracturas y constituyentes capaces de producir reacciones perjudiciales en el hormigón. En el caso de existir minerales arcillosos se debe

establecer si éstos son expansivos (del grupo de la montmorillonita). En el examen petrográfico de rocas ígneas de grano fino, se debe prestar atención a la naturaleza de la pasta (rocas volcánicas). Este estudio debe incluir la determinación de la presencia o ausencia de ópalo, calcedonia, vidrio natural y arcilla expansiva estimando sus cantidades. Además, si se encuentra vidrio natural se debe determinar su tipo (1). Por otra parte, la norma IRAM 1531 (2) establece el contenido máximo de las siguientes sustancias nocivas: finos que pasan el tamiz IRAM 75  $\mu\text{m}$ , terrones de arcilla y partículas friables, sulfatos y otras sales solubles, ftanita (chert), pizarras, micas, fragmentos blandos, películas superficiales, esmectitas, pirita, serpentina, zeolitas, estimados en contenidos individuales específicos, aunque su sumatoria no debe exceder el 5 %. También menciona el contenido máximo de ion cloruro soluble en agua, la granulometría, estabilidad frente a una solución de sulfato de sodio y resistencia a la fragmentación, entre otras. Respecto al análisis petrográfico, la norma establece los componentes potencialmente reactivos frente a la reacción álcali-sílice (cuarzo tensionado y/o microcristalino, ftanita, chert, calcedonia, tridimita, cristobalita, ópalo y vidrio volcánico contenido en rocas volcánicas) y a la reacción álcali-carbonato (dolomita de tamaño promedio menor que 50  $\mu\text{m}$ ), y los porcentajes máximos de cada uno. Si el agregado contiene dos o más de los minerales mencionados, debe considerarse potencialmente reactivo, independientemente del contenido en que se halle presente cada uno. Si del examen petrográfico surge que el agregado grueso es potencialmente reactivo, su reactividad debe ser comprobada por el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) (3) o por el ensayo de prismas de hormigón (IRAM 1700) (4). Este último fue desarrollado por Swenson a mediados de la década del '50 (5) y posteriormente adoptado, con algunas modificaciones, por la Asociación de Normalización Canadiense, por ASTM-C-1293 y RILEM AAR-3 (TC-106-3) (6, 7).

Fernandes et al. (2012) estudiaron la potencial reactividad de diferentes tipos de roca, en base a su composición y textura. Las areniscas, limolitas, grauvacas, argilitas y rocas relacionadas, están constituidas principalmente por clastos detríticos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas preexistentes, liberadas por meteorización y erosión, transportadas y depositadas por procesos sedimentarios, consolidadas por subsecuente compactación y cementación. Consecuentemente, el contenido de diferentes minerales, la distribución del tamaño de partícula, textura y estructura son objeto de grandes variaciones reflejando tanto la proveniencia como la historia y el proceso sedimentario. La composición del cemento o matriz pueden ser totalmente diferentes a la de los clastos, y los más comunes son carbonatos, arcillas, zeolitas y sílice, entre otros. Es frecuente observar espacios intersticiales/intergranulares abiertos y conectados, lo que facilita el acceso de la solución de poro del hormigón a las partículas interiores de roca (8).

La petrografía es utilizada como un primer paso en la evaluación de la potencial susceptibilidad de los agregados frente a la reacción álcali sílice en el hormigón. Cuando un material es calificado como inocuo, en general no se requieren ensayos posteriores. Por lo tanto es importante poner atención en las características petrográficas complejas de los agregados ya que de lo contrario se puede correr el riesgo de utilizar agregados deletéreos. Hagelia y Fernandes (2012), estudiaron estructuras de hormigón de Noruega y Portugal afectadas por la reacción álcali-sílice, construidas con agregados graníticos y cuarcitas de grano medio. El estudio con microscopio mostró que el granito tiene textura inequigranular, con evidencias de deformación y orientación preferencial de los minerales. El tamaño de los cristales de cuarzo varía entre 100 y 200 micrones, aunque también identificaron partículas menores de 50 micrones. El cuarzo presenta bordes de grano irregulares, extinción ondulante (con un ángulo de 20°), lamelas de deformación, cristales elongados microcristalinos y subgranos. En base a esto, sugieren que se debe prestar especial atención a la mineralogía del conjunto y a las variedades petrográficas de los tipos de rocas potencialmente deletéreos (9).

En el presente trabajo se evaluó la relación entre la textura y composición de tres tipos de roca utilizadas como agregado para hormigón en la provincia de Buenos Aires (milonitas, migmatitas graníticas y ortocuarcitas) con la expansión medida en barras de mortero (método acelerado IRAM 1674) y prismas de hormigón (IRAM 1700).

## MATERIALES Y METODOS

Para el estudio se utilizaron tres tipos de agregados de trituración, provenientes de diferentes canteras de la Provincia de Buenos Aires. En la figura 1 se muestra el área de estudio y las localidades de procedencia de las muestras analizadas: Tandil, Azul y Batán. Las rocas de Tandil son migmatitas graníticas, las de Azul milonitas y las de Batán ortocuarcitas.

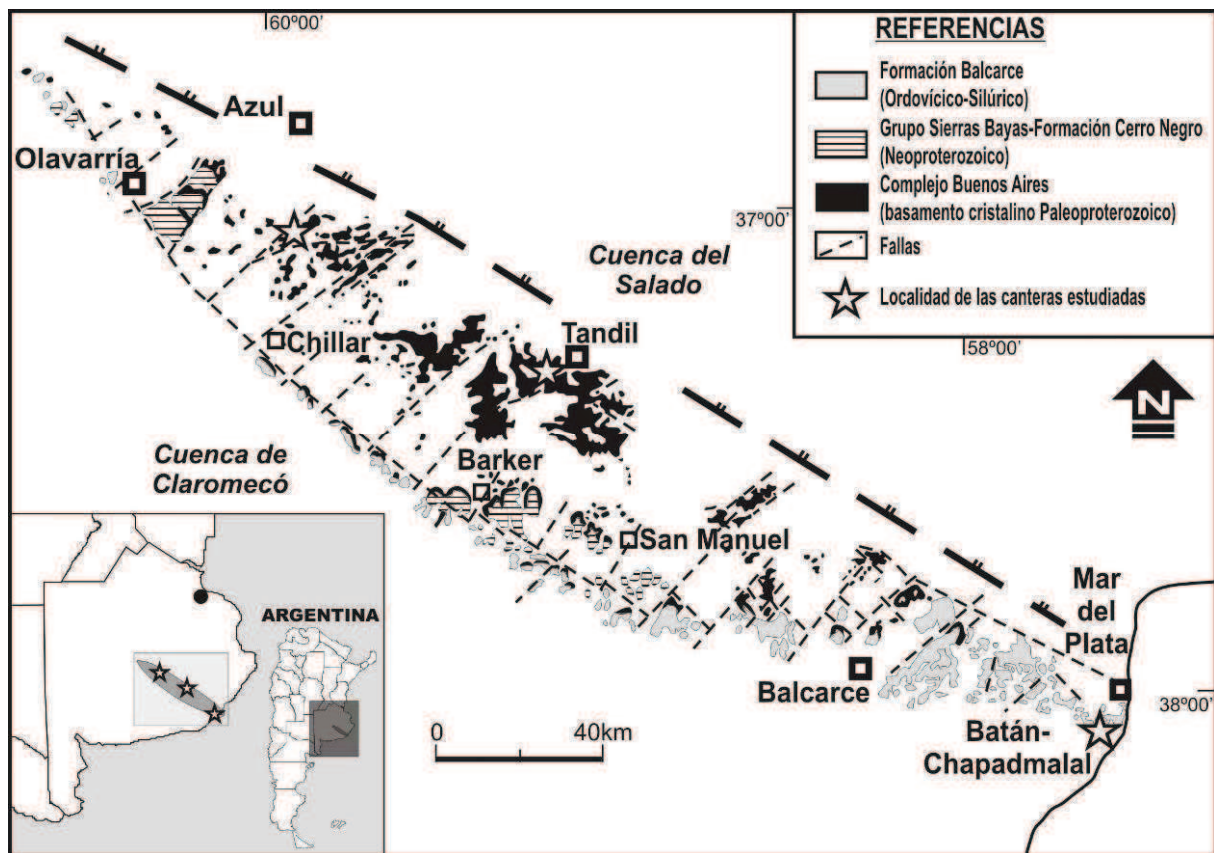


Figura 1: Mapa geológico del Sistema de Tandilia en el contexto de la Prov. de Buenos Aires. Modificado de Cingolani, 2011 (10).

El análisis petrográfico se realizó con un microscopio óptico de polarización Olympus BH2-UMA. Para evaluar la reactividad alcalina potencial se confeccionaron barras de mortero según lo establecido en la norma IRAM 1674 (3) y prismas de hormigón según los requerimientos de la norma IRAM 1700 (4). En el método acelerado de la barra de mortero, después de realizada la lectura inicial de las probetas, se sumergieron en una solución 1N de NaOH a 80 °C. Periódicamente se realizaron lecturas, por ejemplo, cada 48 horas hasta los 16 días. El Reglamento CIRSOC 201 (11) para considerar a un agregado como no reactivo establece que la expansión a 16 días debe ser menor a 0,100%.

Con el método IRAM 1700, los prismas se confeccionaron con el agregado grueso a estudiar, una arena patrón no reactiva, 420 Kg/m<sup>3</sup> de cemento portland normal (con un

contenido de álcalis de  $0,9 \pm 0,1\%$  expresado en  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ) y una razón a/c de 0,42 a 0,45. Se agregó una proporción de NaOH en el agua de mezclado para que el contenido total de álcali equivalente en el hormigón sea de 5,25 Kg. Si la expansión no supera el límite de 0,040% al cabo de un año el agregado se califica como no reactivo. Este límite también es recomendado por ASTM y RILEM. Los agregados ensayados con el método de prisma de hormigón que tengan expansiones menores a 0,040% pueden ser usados sin ninguna restricción, a menos que muestren un comportamiento reactivo en estructuras existentes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Petrografía

Las rocas de Azul son de composición granítica, constituidas por porfiroclastos de cuarzo, feldespato alcalino, microclino, anfíboles (algunos alterados a clorita) y biotita desferrizada. Están rodeados por una base de cuarzo de grano fino a muy fino (200-10  $\mu\text{m}$ ), en menor proporción mafitos y feldespatos. Los porfiroclastos de cuarzo, cuyo tamaño es comúnmente menor a 2 mm, presentan extinción ondulante, migración de bordes, subgranos, algunos forman cintas policristalinas, están recristalizados y con poligonización hacia los bordes. El feldespato presenta, en algunos casos, macla en enrejado (microclino) y el tamaño de grano varía entre 0,5 mm y 4 mm, aunque puede haber mayores (figura 2a y 2b). Esta roca se clasifica como milonita cuarzo - feldespática.

Las rocas de Tandil también son de composición cuarzo - feldespática, pero se diferencian de las anteriores por presentar un tamaño de grano homogéneo, con textura y granulometría similar a la de un granito de grano medio. Están constituidas por cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa, anfíbol y biotita, ambos alterados a clorita. Los feldespatos están muy alterados a illita y carbonato de calcio finamente diseminados. El cuarzo se presenta deformado, con extinción ondulante de barrido y en cintas, migración de bordes de grano y presencia de subgranos (figura 2c y 2d). La roca se califica como migmatita granítica.

Las muestras de las canteras de la localidad de Batán son principalmente ortocuarcitas compuestas por más de 95% de cuarzo, aunque se observan vaques y arcillitas en menor proporción. En la mineralogía también se identificó muscovita, minerales accesorios (turmalina, circón, apatita, rutilo) y opacos en escasa cantidad. Las arcillas se encuentran entre los granos de cuarzo. Predomina la caolinita, aunque puede observarse illita de hasta 1 mm de largo. Es frecuente observar la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro. Una característica particular de estas rocas es la variación textural y de tamaño de grano. Pasan de sabulitas, arenitas sabulíticas a arenitas de grano grueso, medio o fino, con o sin arcilla entre los intersticios, presentando en algunos casos estructura muy compacta, cerrada, con bordes difusos, aserrados, hasta netos y con crecimiento secundario. Los clastos de cuarzo se caracterizan por ser angulosos a subangulosos, de variada morfología, presentan extinción normal, ondulante de ángulo variable (AEO hasta  $\approx 23^\circ$ ) y en algunos casos policristalinos. En pocas ocasiones se observa cemento entre los granos de la roca, y cuando está presente es silíceo, micáceo y hasta ferruginoso. En la figura 3a y 3b (Batán-08) se muestra arenitas de grano grueso a fino, sin cemento o con cemento silíceo y escasa caolinita, mientras que la roca de la figura 3c (Batán-011) presenta una gran variación textural y también posee mayor cantidad de arcillas. La figura 3d es una arcillita conformada por caolinita-cuarzo e illita subordinada.

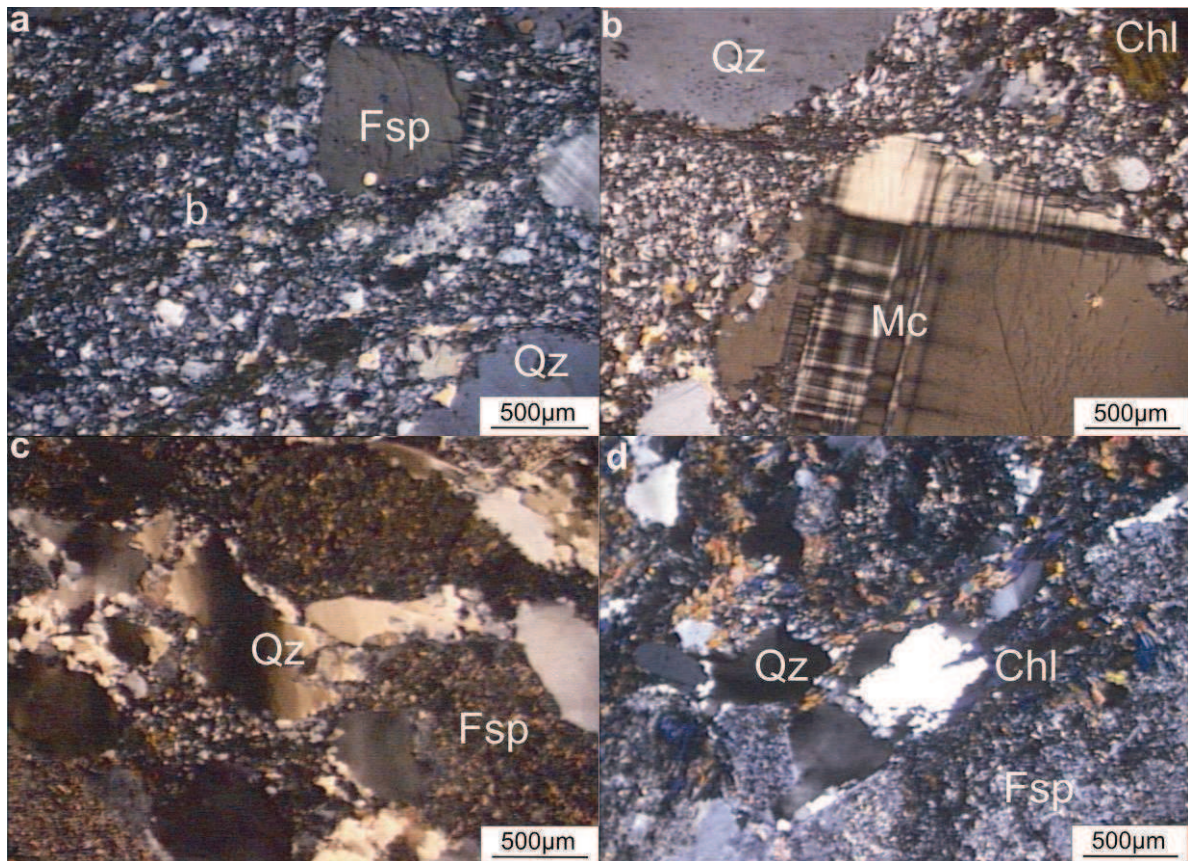


Figura 2: a y b. Milonita de Azul; c y d. Migmatita de Tandil. Cuarzo (Qz), feldespato (Fsp), microclino (Mc) y clorita (Chl).

## Ensayos físicos

Los resultados de los ensayos físicos se presentan en la figura 4. En 4a y 4b, se puede observar que la expansión de las barras de mortero en el ensayo acelerado, supera el límite 0,100% a los 16 días establecido por el Reglamento CIRSOC 201 (11) para todas las rocas ensayadas. Las migmatitas y milonitas superan el límite 0,100 % entre los 8 y 10 días (figura 4a), y las cuarcitas a los 14 días (figura 4b). A los 21 días, las rocas de Tandil y Azul superan el valor máximo de 0,200 % (aunque la expansión es mayor en las milonitas), en cambio las cuarcitas llegan a ese límite a la edad de 28 días.

En la figura 4c y 4d se observa las curvas obtenidas con el método del prisma de hormigón. Los agregados de composición granítica se califican como reactivos. Si bien en el comienzo del ensayo ambas rocas tienen similar comportamiento, a partir de las 13 semanas, la expansión se incrementa con mayor velocidad en la milonita, que alcanza el límite máximo establecido por el reglamento a las 26 semanas, mientras que la migmatita alcanza una expansión de 0,04 % a las 42 semanas. Las cuarcitas en cambio muestran un incremento rápido en la expansión en las primeras semanas alcanzando el equilibrio a las 18 semanas. Solo una de las muestras supera el límite máximo.

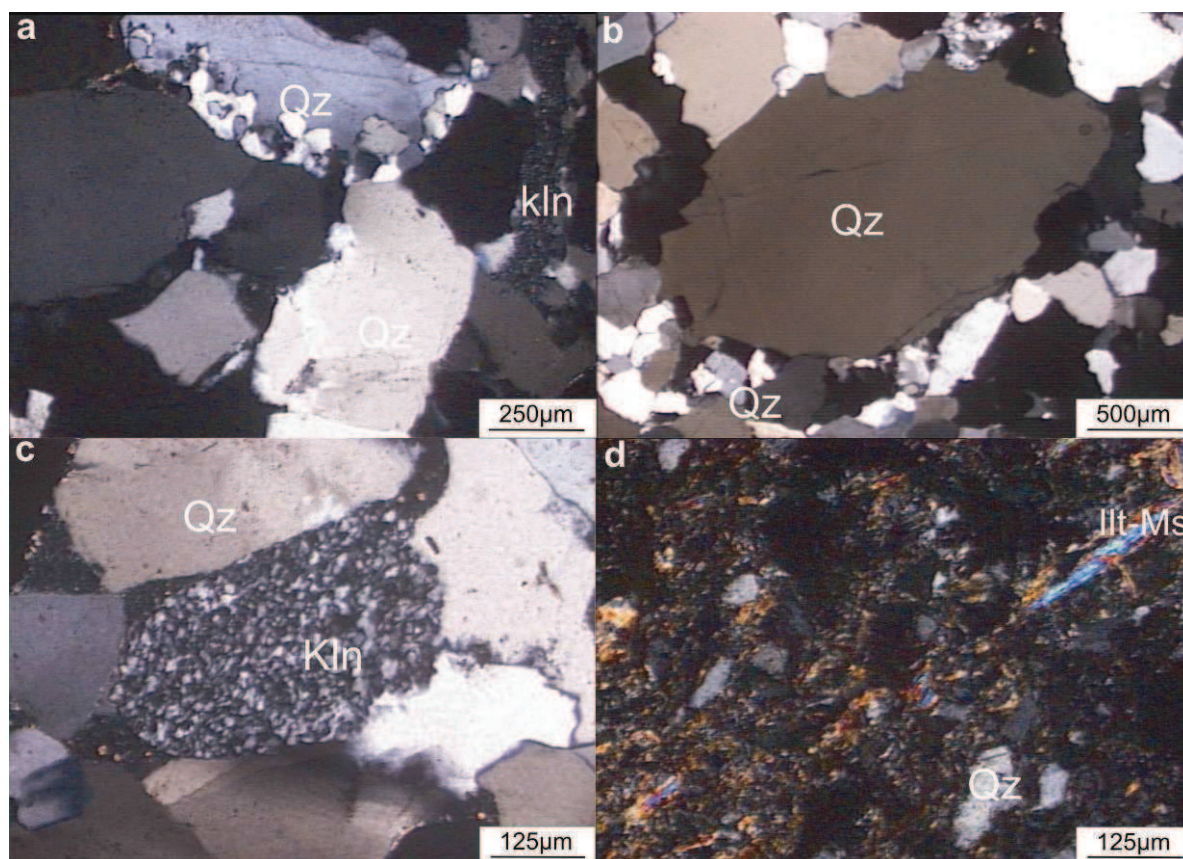


Figura 3: a, b, c. ortocuarzitas de Batán; d. arcillita de la misma procedencia. Cuarzo (Qz), caolinita (Kln), Illita (Ill) y muscovita (Ms).

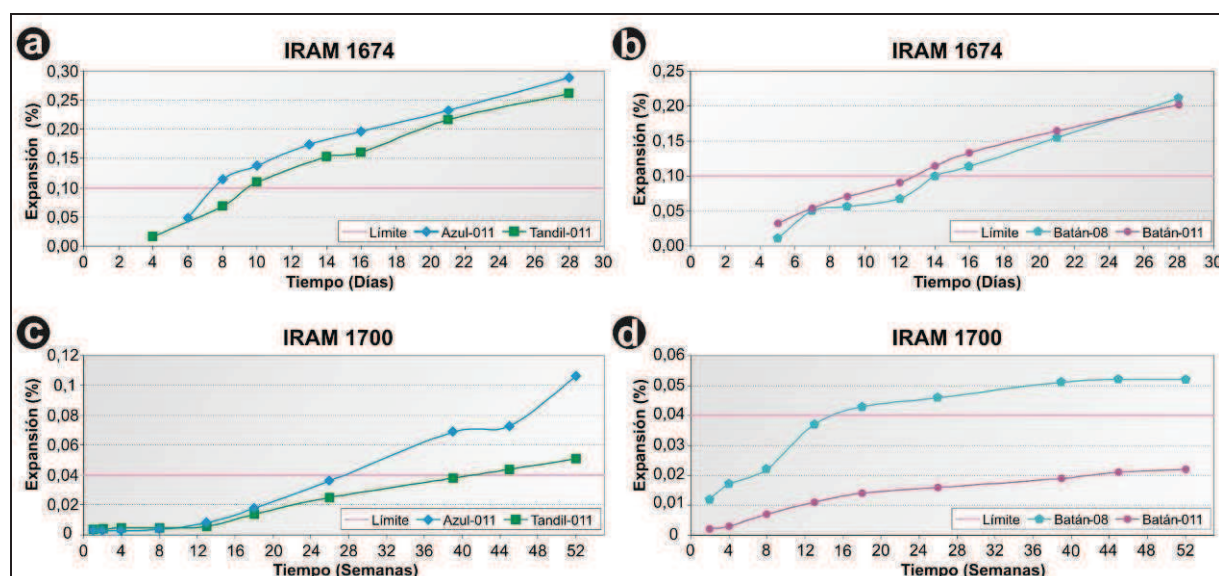


Figura 4: Expansión (%) en los ensayos físicos. a y b según norma IRAM 1674. c y d IRAM 1700.

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos con el método acelerado de la barra de mortero son similares en las distintas cuarcitas ensayadas y en las rocas cuarzo – feldespáticas.

- El método del prisma de hormigón muestra diferencias en las expansiones de los distintos agregados. El agregado de Azul supera el límite de expansión más rápidamente que el de Tandil-011, alcanzando el límite 0,100% a la edad de un año. Este se corresponde a un agregado con abundante cuarzo tensionado de grano fino. La roca de Tandil expande 0,050% a la edad de un año y corresponde a una roca de grano grueso con cuarzo deformado.
- Las ortocuarzitas de Batán presentan expansión variable. Estas diferencias se atribuyen a cambios en la textura de la roca, presencia de sílice microcristalina y cuarzo deformado con extinción ondulante.
- Las características petrográficas tan variables en las rocas cuarcíticas también se observaron en los frentes de cantera, donde se aprecian variaciones verticales de los estratos, como coloración, espesor, dureza y cohesividad, así como también en el tamaño de grano y presencia de material fino (arcillitas) intercalado con los espesos paquetes de las cuarcitas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al LEMIT, al Dpto. de Geología de la UNS-INGEOSUR y a la CIC de la Prov. de Bs. As., por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS

- (1) IRAM 1649. "Examen petrográfico de agregados para hormigón" IRAM, (2008), 15 p.
- (2) IRAM 1531. "Agregado grueso para hormigón de cemento", IRAM, (2012), 27 p.
- (3) IRAM 1674. "Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero", IRAM, (1997).
- (4) IRAM 1700. "Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado", IRAM, (1997).
- (5) Swenson EG. "A reactive aggregate undetected by ASTM test", ASTM Bulletin, 226, (1957), 48-51.
- (6) ASTM C 1293. "Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction". Annual Books of ASTM Standards. Concrete and Aggregates. Section four construction. Vol. 04.02, (2008), 677-681.
- (7) RILEM TC106 AAR: Alkali aggregate reaction. TC 106-3. "Detection of potential alkali-reactivity of aggregates - Method for aggregate combinations using concrete prisms". RILEM, (2005), 283-293.
- (8) Fernandes I., Broekman M., Nixon P., Sims I., Ribeiro M., Noronha F., Wigum B. "Alkali-silica reactivity of some common rocks types. A global petrographic atlas". 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions (ICAAR). Austin, Texas (USA), (2012), PDF, 8 p.
- (9) Hagelía P., Fernandes I. "On the AAR susceptibility of granitic and quartzitic aggregates in view of petrographic characteristics and accelerated testing". 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reactions (ICAAR). Austin, Texas (USA), (2012), 8 p.
- (10) Cingolani C. "The Tandilia system of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: An overview International Journal of Earth Sciences". Volumen 100. Numbers 2-3, (2011), 221-242.
- (11) CIRSOC 201. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). 2005.

