

RAS: CONTRIBUCIÓN PARA IDENTIFICAR AGREGADOS REACTIVOS, EN PARTICULAR LOS DE REACCIÓN LENTA

Batic, O. R.¹, Sota, J. D.² y Falcone, D. D.³

RESUMEN

En nuestro país se utilizan agregados de diferentes procedencias con minerales reactivos frente a los álcalis contenidos en el hormigón y cuando las condiciones ambientales son favorables originan reacción álcalis sílice (RAS) que deterioran al hormigón. Existen diversos ensayos sobre agregados que permiten evaluar los riesgos previamente al uso (IRAM 1649, 1674, 1700 y RTA T363) y adoptar soluciones tecnológicas para evitar los efectos indeseados. Para hacer los hormigones, se utilizan agregados provenientes de la trituración de rocas graníticas que contienen variedades de sílice cristalina tensionada y/o deformados que produce reacción lenta frente a los álcalis, que en algunas ocasiones es difícil de detectar en los estudios previos de laboratorio. En esta oportunidad se dan a conocer los resultados de ensayos aplicados a varias tipologías de agregados, dos de ellos normalizados y otro estudiado en el LEMIT que posibilita identificar a la mayoría de los agregados de reacción lenta que por otros métodos no es posible. El estudio se realizó utilizando 19 agregados de diferente origen, 13 de ellos proceden de yacimientos de rocas graníticas en explotación y el resto de variada mineralogía.

INTRODUCCION

La reacción álcali sílice (RAS) es una reacción destructiva del hormigón que se produce al utilizar agregados finos y/o gruesos con sílice lábil o termodinámicamente inestable frente a los álcalis, en presencia de humedad suficiente y a la temperatura habitual que vive el hombre (1). En diversas provincias se observan obras afectadas por RAS (2), en la Fig. 1 se muestra una fotografía de una sección de un dique con agregados de reacción normal y en la Fig. 2 se muestra un pavimento con agregados de reacción lenta, como se puede observar los efectos finales son similares.

Los agregados que contienen variedades de sílice amorfa, como el ópalo y el vidrio volcánico, o variedades microcristalina fibrosa como la calcedonia, producen reacciones frente a los álcalis que se manifiestan en cortos períodos, un año o algo más, en cambio los agregados con minerales de cuarzo cristalino tensionado o deformado, microcristalino, o criptocristalino dan reacciones diferidas que superan varios años. En ambos casos dependen de factores vinculados al hormigón y al entorno en el cual está emplazada la obra, principalmente la humedad debe superar el 80 % continuamente o al menos durante períodos prolongados como para que ingrese en el hormigón.

¹ Investigador Principal CIC-LEMIT- Prof. Fac. Ing. UNLP .

orbatic@netverk.com.ar

² Profesional Principal CIC-LEMIT. Prof UTN La Plata

³ Profesional Adjunto CIC-LEMIT. Docente Fac. Ing. UNLP

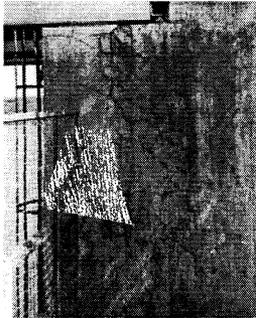


Fig. 1. RAS con agregados de reacción rápida. Fig. 2. RAS con agregados de reacción lenta

Cuando la reacción destructiva manifiesta sus efectos en una obra es necesario iniciar trabajos de mantenimiento, reparación, si el deterioro es grande se debe hacer el reemplazo. Ante esta situación es necesario realizar inversiones no contempladas en el proyecto para que la obra pueda continuar prestando el servicio previsto.

Durante la etapa de proyecto se hacen estudios y evaluaciones, entre las que se destaca en este caso, las de identificar los agregados desde el punto de vista de la reactividad frente a los álcalis previamente a ser utilizados.

En la naturaleza se encuentran agregados de reacción rápida y lenta frente a los álcalis, los primeros son fáciles de identificar mediante los ensayos tradicionales como el IRAM 1637, 1674, 1700 y varios ensayos más, pues dan resultados reproducibles; en cortos períodos muestran el carácter reactivo, en cambio existen, otros de reacción lenta, que al aplicar algunos ensayos tradicionales como los propuestos por las normas IRAM 1637 y 1674 dan resultados menores o en el límite a los admitidos para ser catalogados como reactivos. Cuando ocurre esto, es necesario aplicar la experiencia disponible y/o hacer estudios de larga duración como el indicado por la norma IRAM 1700. A veces sucede que la obra tiene requerimientos especiales en cuanto a vida útil o resulte peligroso el deterioro prematuro, se deben prolongar los períodos de estudio a 2 o más años. Lo que puede producir serios perjuicios en la iniciación de la obra o sino se deben tomar recaudos, a veces, muy onerosos, a fin de evitar daños o inconvenientes.

Para estudiar la reactividad de los agregados, en Argentina se usan dos métodos de ensayo: el IRAM 1674, sobre barras de morteros, dando información sobre el potencial deletéreo de los agregados al cabo de 16 días, pero no detecta como reactivos en la mayoría de los casos a los agregados de reacción lenta o diferida dejándolos en el entorno de agregados marginales. El otro método, IRAM 1700, es mucho más confiable, se realiza evaluando el comportamiento de prismas de hormigón con los agregados en estudio, pero demanda un año de ensayo o hasta que la expansión del prisma supere un límite establecido de expansión máxima admitida (0.040 %) dentro del año para considerar al mismo como reactivo.

En estos últimos tres años se han estudiado otros métodos específicos que ayudan a resolver el problema en forma rápida y confiable, para identificar a los agregados de reacción lenta o diferida, uno de ellos es el método propuesto por Shayan (3-5), que ha sido adoptado en Australia bajo la denominación RTA T363. Es aplicable a agregados en general y permite precisar un poco más el comportamiento de los agregados de reacción lenta.

En este trabajo se comparan el método de la Norma IRAM 1674 (6-9), el propuesto por Shayan RTA T363 (3) y el de la Norma IRAM 1700 (10-11), se discuten los resultados obtenidos y las ventajas y desventajas de cada uno para evaluar agregados con lenta RAS.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS

Se seleccionaron 19 agregados procedentes de canteras en explotación, 13 de ellas de mantos de rocas cristalinas de la Provincia de Bs. As. Las rocas graníticas contienen granos y subgranos con extinción ondulosa, que son signos de tensión y deformación del cuarzo y pueden producir reacción deletérea, algunas de ellas utilizadas en estudios anteriores (12-14) y que han provocado destrucciones de pavimentos. Otros son agregados triturados de una ortocuarcita y rodados patagónicos compuestos por riolitas, rocas volcánicas y basalto, que contienen principalmente vidrio volcánico. En la Tabla 1 se indica la procedencia de los agregados y algunas características mineralógicas y petrográficas.

Tabla 1. Origen y características de los agregados.

| Muestra | Zona | Identificación IRAM 1649 |
|---------|-------------|--|
| 1 | Tandil 1 | Migmatita granítica 100% |
| 2 | Tandil 2 | Migmatita granítica 100% |
| 3 | Tandil 3 | Migmatita granítica 99%, Anfibolitas 0.8%, Metacuarcita 0.2% |
| 4 | Tandil 4 | Migmatita granítica 77% Anfibolitas 23% |
| 5 | Tandil 5 | Migmatita tonalítica 93.6 % Anfibolitas 5.5% Andesita 0.9 % |
| 6 | Olavarria 1 | Migmatita granítica cataclastizada 100% |
| 7 | Olavarria 2 | Migmatita granítica cataclastizada 100% |
| 8 | Olavarria 3 | Migmatita granítica 100% |
| 9 | Olavarria 4 | Migmatita granítica 100% |
| 10 | Olavarria 5 | Migmatita granítica cataclastizada 98.5% Anfibolitas 1.5% |
| 11 | Azul 1 | Migmatita granítica cataclastizada 100% |
| 12 | Azul 2 | Migmatita granítica cataclastizada 62.1%, Migmatita granodiorítica cataclastizada 37.9 % |
| 13 | Azul 3 | Migmatita granítica milonitizada 100% |
| 14 | Neuquén 1 | Riolita |
| 15 | Neuquén 2 | Riolita |
| 16 | Allen | Arena cuarzo lítica, heterogénea con vidrio volcánico |
| 17 | A. Oriental | Arena silíceo, con cuarzo y calcedonia |
| 18 | Pigüe | Metacuarcita, cementada con calcedonia y ópalo |
| 19 | Viedma | Rodados patagónicos, heterogéneos con vidrio volcánico. |

Los morteros y hormigones contienen un cemento pórtland normal CPN 40 de alto álcali (expresado en $\text{Na}_2\text{Oe} = 0.99 \%$) y agua de mezclado desmineralizada. El estudio se realizó empleando tres métodos de ensayo, los propuestos por las normas IRAM 1674 y 1700 y el de la especificación RTA T363. A continuación se hace una breve descripción de los aspectos más destacados de los ensayos utilizados.

Para realizar el ensayo según IRAM 1674, los morteros contienen el cemento indicado, una proporción cemento/arena 2.25 y una relación agua/cemento de 0.47 ambas en masa, las probetas moldeadas se colocan en agua por 24 hs y elevando la temperatura desde $20\text{ }^\circ\text{C}$ progresivamente hasta $80\text{ }^\circ\text{C}$, luego se realiza la lectura inicial y se pasan a una solución de hidróxido de sodio uno normal (NaOH 1N) a $80\text{ }^\circ\text{C}$. Se realizan mediciones de longitud periódicamente hasta los 16 días y habitualmente se continúan hasta los 28 días desde la confección (5-7).

En el método RTA T363 las probetas de mortero de $25 \times 25 \times 285\text{ mm}$ se desmoldan a las 24 hs, se sumergen en agua a $20 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ durante 48 hs, al cabo de este tiempo se pasan a agua a $80\text{ }^\circ\text{C}$ por 4 hs, y se realiza la lectura inicial, luego se estacionan en un baño de NaOH 1N a $80\text{ }^\circ\text{C}$ y se miden periódicamente. Está indicado medir a los 13 y a los 24 días de edad y es conveniente prolongar el estudio hasta 56 días. Se deben observar las superficies de las probetas durante los ensayos con ambos métodos y especialmente al finalizar, para comprobar la aparición o formación de manchas, geles y fisuras características de la RAS.

El método IRAM 1700, requiere confeccionar tres prismas de hormigón, con una razón a/c que varía entre 0.42 y 0.45, un contenido unitario de cemento de 420 Kg/m^3 , 5.25 Kg/m^3 de álcali equivalente, proporción de agregado fino a grueso 40/60. Luego de 24 hs en los moldes se realiza la lectura de referencia, se envuelven con una tela de algodón saturada en agua, recubriéndola con un film de polietileno y se colocan dentro de una bolsa de polietileno con 5 ml de agua, por último son introducidas en un recipiente de plástico cerrado herméticamente, con agua en el fondo sin tocar el envoltorio de las probetas. Se dejan a $23 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24hs y se realiza la lectura inicial, posteriormente se estacionan a $38 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, midiéndolas a edades de 1, 2, 4, 8, 13, 18, 39 y 52 semanas. Antes de realizar cada lectura se debe estacionar el recipiente con las probetas a $23 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ por un tiempo de $16 \pm 4\text{ hs}$, luego se vuelven a las bolsas y se agrega 5 ml de agua para mantener la humedad.

RESULTADOS

En la Fig. 3 se muestran las curvas expansión-edad obtenidas aplicando los tres métodos utilizados, con el fin de comparar la cinética de la reacción a través del desarrollo de la expansión en cada una de las muestras estudiadas. Se han identificado con \blacklozenge los resultados obtenidos con el método IRAM 1674, con \blacksquare los del método RTA T363 y con \blacktriangle los del método IRAM 1700. Los símbolos \square \diamond \square y línea horizontal, corresponden a los límites normalizados para la calificación de la reactividad.

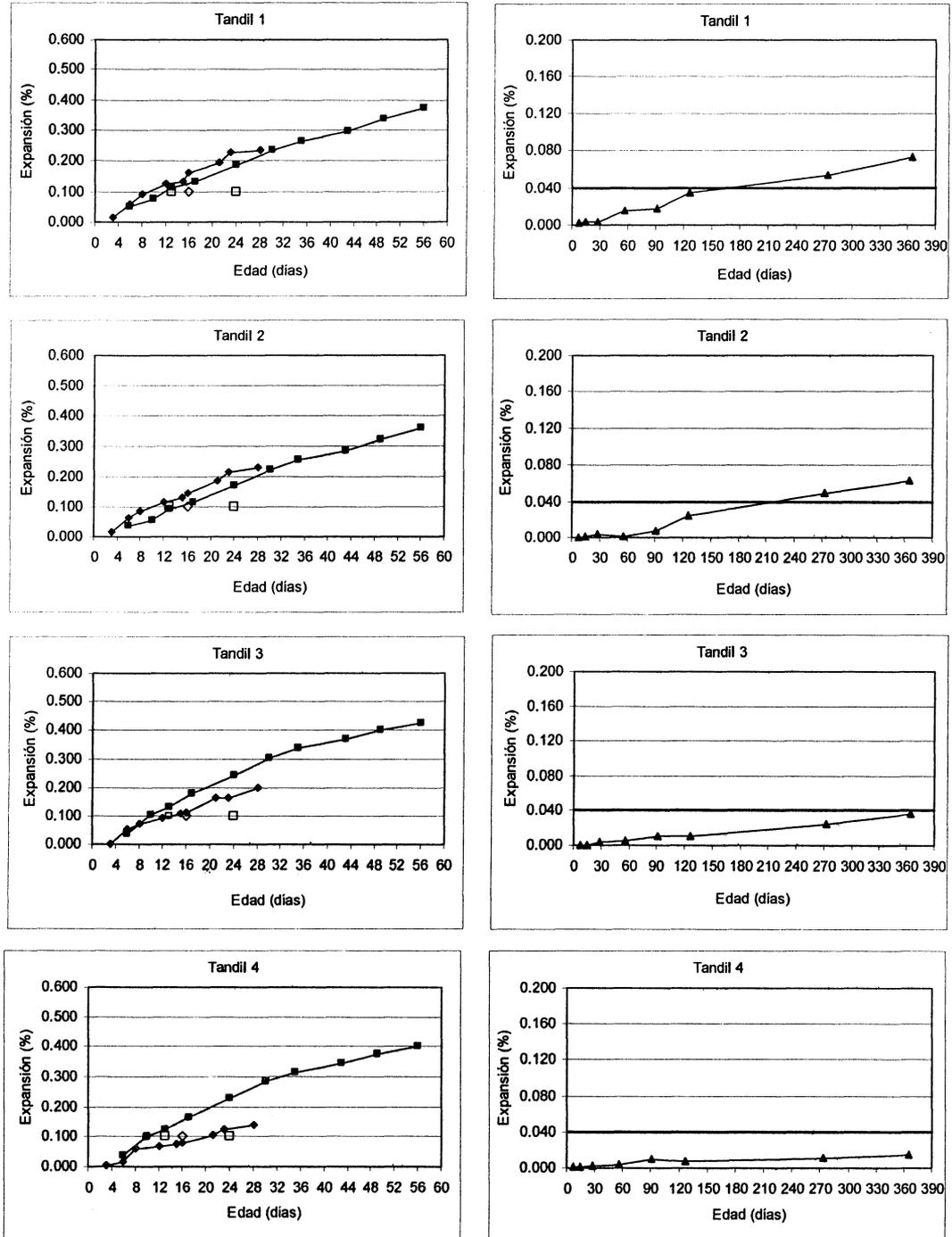


Fig. 3. Gráficos expansión-edad para distintos métodos de ensayos.

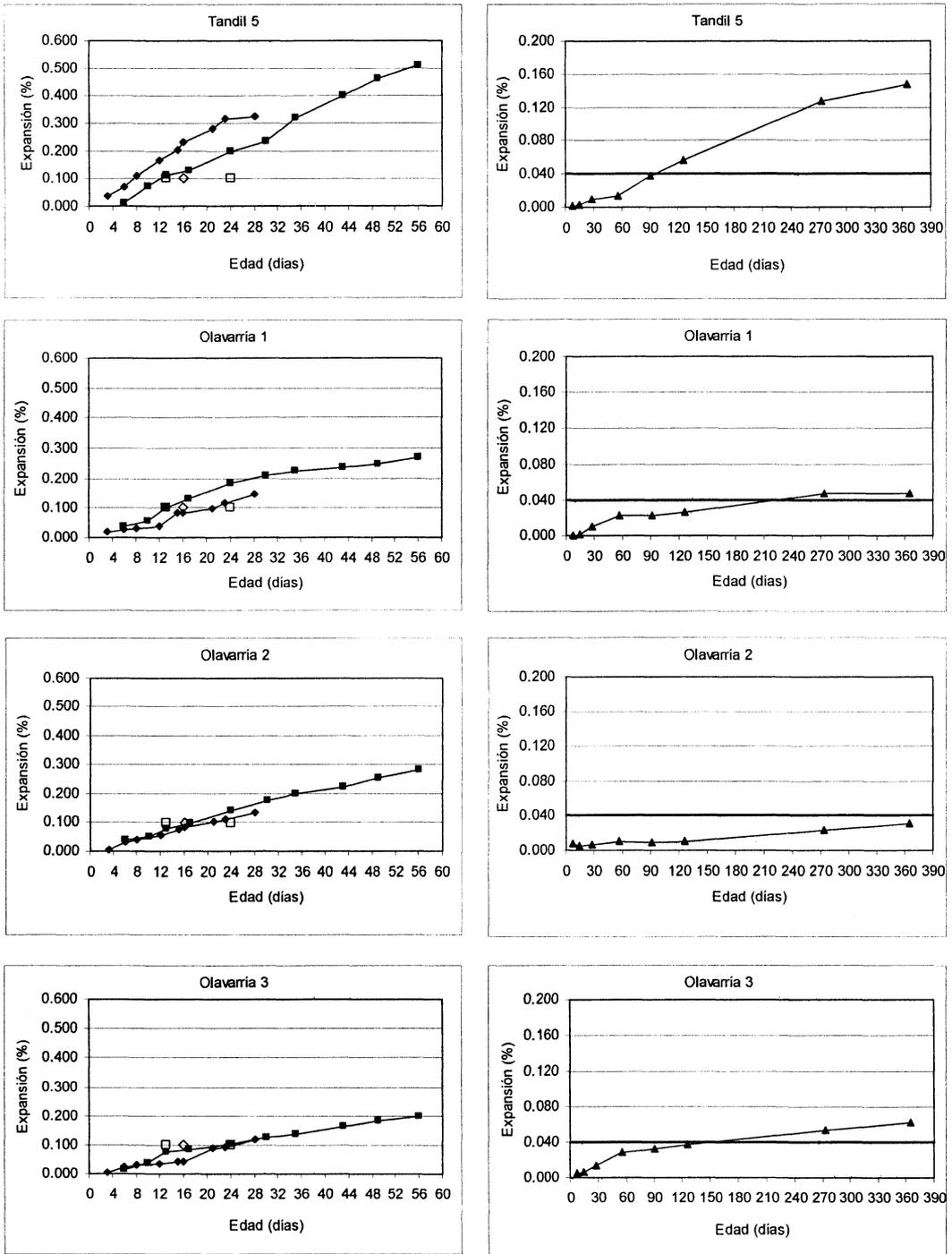


Fig. 3. Gráficos expansión-edad para distintos métodos de ensayo (Continuación).

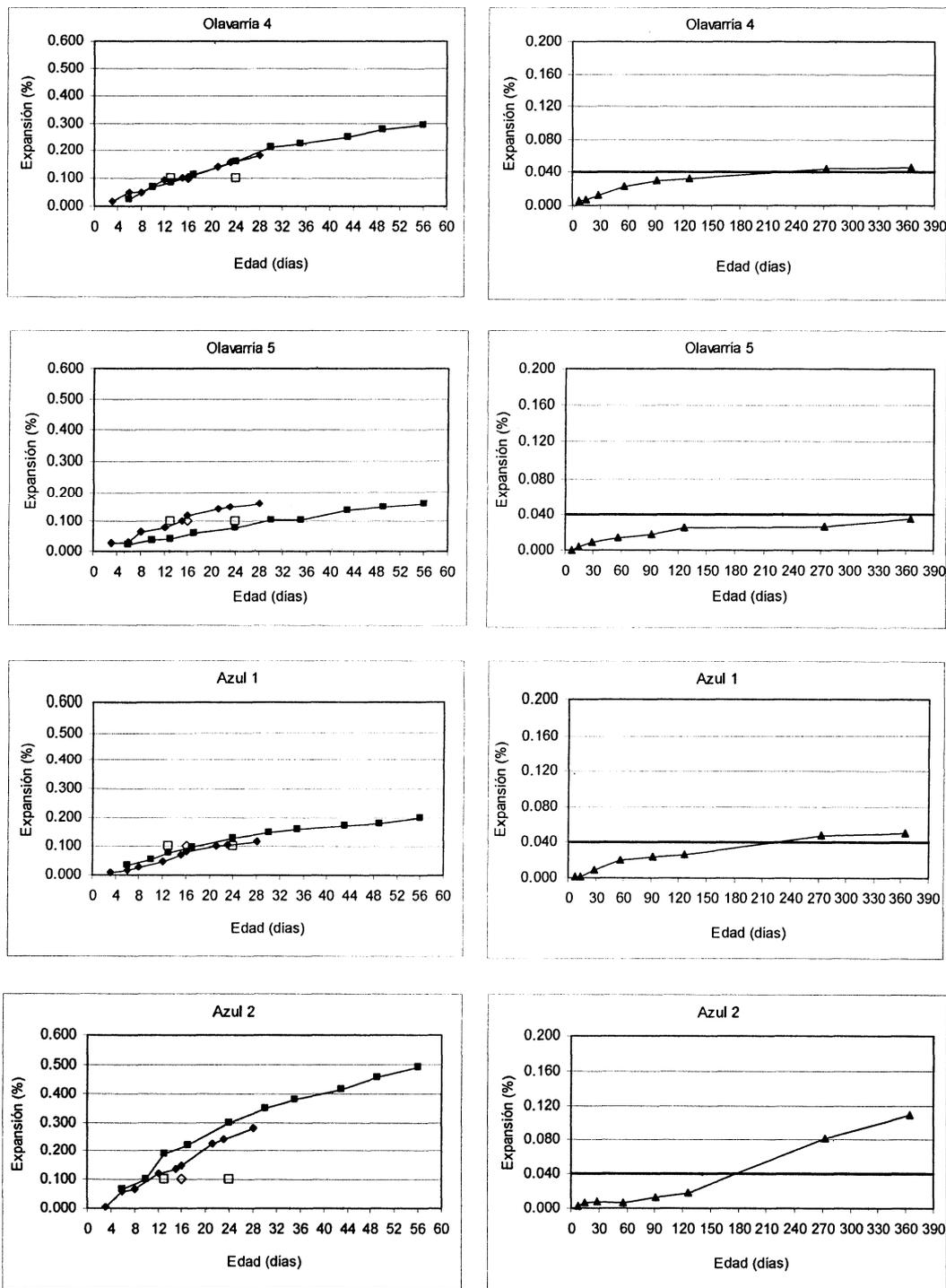


Fig. 3. Gráficos expansión-edad para distintos métodos de ensayos (Continuación).

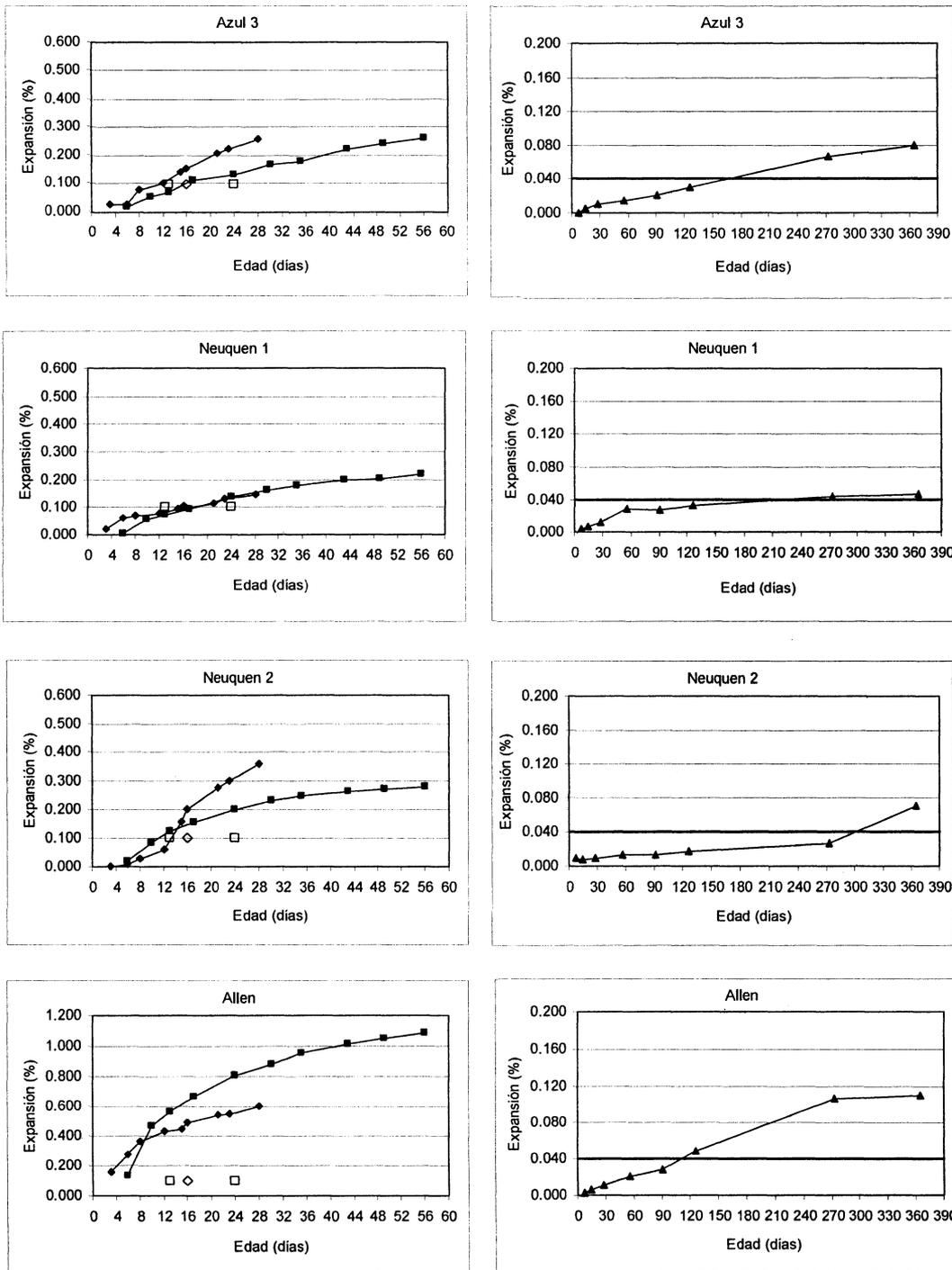


Fig. 3. Gráficos expansión-edad para distintos métodos de ensayo (Continuación).

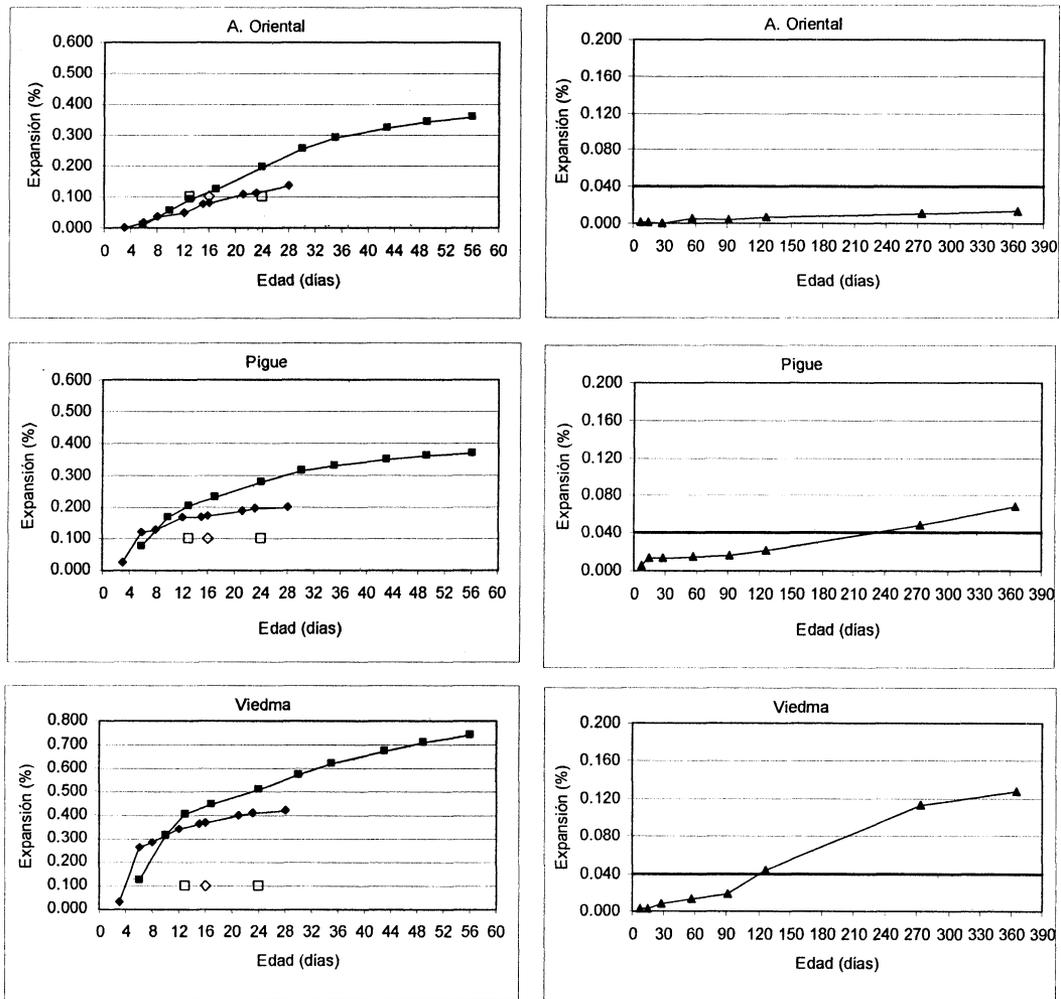


Fig. 3. Gráficos expansión-edad para distintos métodos de ensayo (Continuación).

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) fija el límite máximo de 0.100 % para clasificar al agregado como no reactivo (NR) a la edad de 16 días de confección, se considera reactivo (R) cuando supera el límite 0.200 % y la reactividad es dudosa (D) o marginal entre 0.100 y 0.200 %. Algunos autores (6) aconsejan considerar para la evaluación de los agregados procedentes de rocas graníticas o gneiss con cuarzo tensionado deformado o microcristalino la expansión máxima 0.080 %, en base a las observaciones de campo y al comportamiento de este tipo de rocas en laboratorio.

Para evaluar los resultados de los agregados frente a la RAS, el ensayo RTA T363 tiene límites diferentes; cuando el valor de expansión a los 13 días de la confección supera

0.100 % el agregado se considera reactivo (R) de reacción normal o rápida. En caso contrario se debe esperar al resultado de 24 días (21 días en NaOH 1N a 80°C) para verificar si supera o no el valor de 0.100 % para calificarlo en ese caso como reactivo lento (RL) o no reactivo (NR).

En el ensayo IRAM 1700, el límite máximo admitido para considerar a un agregado no reactivo (R) es de 0.040 % al año de exposición con humedad permanente y a 38°C.

Del análisis comparativo de los resultados obtenidos sobre los agregados estudiados (Tabla 2) se desprende lo siguiente: los agregados 5, 16 y 19 son calificados por los tres métodos como reactivos, en el caso de los agregados de reacción dudosa o lenta se observan diferencias, el agregados 10 es considerado no reactivo por el método IRAM 1700 y RTA T363, pero en el ensayo según IRAM 1674 cae en la zona dudosa. Los agregados 4, 6, 7, 8, 11, 14 y 17 son considerados no reactivos por IRAM 1674 y solamente los agregados 7 y 17 por IRAM 1700, de los cuales 7, 8, 11, 14 y 17 son de reacción lenta y los dos restantes reactivos, según RTA T363.

Tabla 2. Comparación de resultados de reactividad según los métodos estudiados.

| Agregado N° | Clasificación de la reactividad de los agregados según el método | | | | | | | | |
|----------------|--|-------|-----------|----------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| | IRAM 1674 | | | RTA T363 | | | | IRAM 1700 | |
| | 16 d | 28 d | Resultado | 13 d | 24 d | 56 d | Resultado | 52 d | Resultado |
| 1 | 0.162 | 0.234 | D | 0.113 | 0.185 | 0.374 | R | 0.073 | R |
| 2 | 0.146 | 0.228 | D | 0.093 | 0.172 | 0.358 | RL | 0.063 | R |
| 3 | 0.113 | 0.200 | D | 0.133 | 0.242 | 0.425 | R | 0.036 | NR |
| 4 | 0.080 | 0.138 | NR | 0.124 | 0.227 | 0.400 | R | 0.015 | NR |
| 5 | 0.231 | 0.323 | R | 0.112 | 0.199 | 0.512 | R | 0.148 | R |
| 6 | 0.084 | 0.146 | NR | 0.103 | 0.182 | 0.269 | R | 0.048 | R |
| 7 | 0.081 | 0.135 | NR | 0.078 | 0.140 | 0.283 | RL | 0.031 | NR |
| 8 | 0.041 | 0.118 | NR | 0.075 | 0.104 | 0.199 | RL | 0.063 | R |
| 9 | 0.104 | 0.183 | D | 0.084 | 0.163 | 0.292 | RL | 0.046 | R |
| 10 | 0.118 | 0.159 | D | 0.039 | 0.078 | 0.160 | NR | 0.035 | NR |
| 11 | 0.080 | 0.117 | NR | 0.077 | 0.129 | 0.198 | RL | 0.051 | R |
| 12 | 0.149 | 0.277 | D | 0.190 | 0.297 | 0.493 | R | 0.109 | R |
| 13 | 0.151 | 0.257 | D | 0.070 | 0.133 | 0.261 | RL | 0.080 | R |
| 14 | 0.097 | 0.147 | NR | 0.073 | 0.138 | 0.220 | RL | 0.047 | R |
| 15 | 0.197 | 0.356 | D | 0.125 | 0.198 | 0.278 | R | 0.070 | R |
| 16 | 0.487 | 0.601 | R | 0.566 | 0.808 | 1.091 | R | 0.110 | R |
| 17 | 0.079 | 0.135 | NR | 0.093 | 0.196 | 0.362 | RL | 0.013 | NR |
| 18 | 0.172 | 0.198 | D | 0.202 | 0.280 | 0.370 | R | 0.068 | R |
| 19 | 0.371 | 0.419 | R | 0.404 | 0.511 | 0.744 | R | 0.128 | R |

Este análisis muestra que la aplicación del ensayo según RTA T363, posibilita ampliar la detección de agregados de reacción lenta lo que es confirmado por el método IRAM 1700, en un lapso de tiempo de ensayo menor, de solo 24 días. Para resolver adecuadamente esta situación utilizando el segundo método es necesario ampliar los estudios ya sea prolongando el tiempo de estudio a 2 o más años u emplear diferentes porcentajes de álcalis por metro cúbico o hacer estudios de mezclas de agregados para obtener el pesimun.

De los resultados también surge que existen algunas incoherencias como en el comportamiento de los agregados 7 y 17, que el método RTA T363 los indica como (RL) y el 1700 los califica como (NR). Esto deberá ser analizado y tal vez evaluado mediante estudios a mayores edades y observaciones de obras existentes construidas con estos agregados.

CONCLUSIONES

Del estudio comparativo de los tres métodos estudiados para identificar a los agregados como reactivos frente a los álcalis, en especial a los agregados de reacción lenta, surgen las siguientes conclusiones:

- El método IRAM 1674, no permitió detectar algunos agregados de reacción lenta en 16 días de ensayo y a otros los identificó como dudosos o marginales haciendo necesario ampliar los estudios.
- El método IRAM 1700, confirma los antecedentes bibliográficos, en el sentido de ser un método confiable de larga duración, que coincide con el comportamiento de los agregados en obras de hormigón.
- El método RTA T363 se muestra como de mayor potencia para identificar a los agregados de reacción lenta y además permite identificar a los agregados de reacción rápida en 13 días.
- Se observan algunas incongruencias en la evaluación de la reactividad comparando los resultados de los diferentes métodos estudiados, por lo que será necesario la ampliación de los estudios, analizando muestras con diferentes petrografías.

REFERENCIAS

- (1) Fournier, B. and Berube, M. A., "Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications", Can. J. Civ. Eng. 27, Canadá, 2000, pp. 167-191.
- (2) Batic, O.R., Sota, J.D. y Falcone D.D., "Agregados de la República Argentina para construir estructuras de hormigón, frente a la RAS", El Hormigón Estructural y el Transcurso del Tiempo, Simposio FIB2005, 2005, Argentina. (en prensa)
- (3) Shayan, A., Diggins, R.G., Ivanusec, I. and Westgate, P.L., "Accelerated testing of some australian and overseas aggregates for alkali-aggregate reactivity", Cement and Concrete Research, 1988, Vol 18, pp. 843-851.

- (4) Shayan, A. and Morris, H., "A Comparison of RTA T 363 and ASTM C1260 accelerated mortar bar test methods for detecting reactive aggregates", Cement and Concrete Research, 2001, Vol 31, pp. 655-663
- (5) Shayan A., "Validity of accelerated mortar bar test methods for slowly reactive aggregates-Comparison of test results with field evidence", Concrete in Australia, 2001, pp. 24-26
- (6) Norma IRAM 1674. Agregados. Determinación de la Reactividad Alcalina Potencial. Método Acelerado de la Barra de Mortero.
- (7) Mullick A.K. Wason R., "NBRI test method on aggregate containing strained quartz". 10th International Conference on Alkali Aggregate Reaction in Concrete, Australia, 1996, pp. 340-347.
- (8) Batic, O.R., Milanesi, C.A. y Sota, J.D., "Método de ensayo acelerado de la barra de mortero NBRI. Una revisión crítica con miras a su normalización", Revista HORMIGON 29, 1996, pp. 29-42.
- (9) Oberholster R.I, Davies G., "An accelerated method for testing the potential alkali reactivity of siliceous aggregates", Cement and Concrete Research, 1983, Vol 16(2), pp. 181- 189.
- (10) Norma IRAM 1700. Agregados. Determinación del Cambio de Longitud en Prismas de Hormigón, debido a la Reacción Alkali-Agregado.
- (11) C.S.A. 1994a. Appendix B. Álcali-Aggregate reaction CSA A23. 2-4. Concrete Materials and Methods of Concrete Construction Canadian Standards Association Toronto, Ontario.
- (12) Batic, O. R., Cortelezzi, R. C., Pavlicevic R. y Sota, J. D., "Influencia de los minerales tensionados en los agregados para el hormigón frente a la reacción álcalis-sílice". Actas del Tercer Congreso Nacional de Geología Económica, Olavarría, Tomo III, 1988.
- (13) Batic, O. R. y Sota J. D., "Agregados potencialmente reactivos del tipo granítico (migmatitas catacláticas). Proceedings X Inter-American Conference on Materials Technology, San Antonio, Texas, USA, 1989, pp. 7-17 a 7-22.
- (14) Batic, O. R., Sota J. D., Milanesi C. A., Cortelezzi, R. C. y Pavlicevic R., "Estudio de rocas graníticas de la provincia de Buenos Aires desde el punto de vista de la reactividad con los álcalis del hormigón", Revista HORMIGON N° 33, 1999, pp. 11-40.