



★ **Mención especial en la categoría Mérito Científico** ★

*El siguiente trabajo, presentado en el marco del V Congreso Internacional y 19° Reunión Técnica de la AATH "Ing. Oscar R. Batic" que se desarrolló en la Universidad Nacional del Sur, ciudad de Bahía Blanca, Argentina, durante los días 7-9 de noviembre de 2012 ha recibido Mención especial en la categoría Mérito Científico.*

## **MÉTODO ACELERADO DEL PRISMA DE HORMIGÓN. EVALUACIÓN DE LA RAS CON AGREGADOS DE DIVERSAS REGIONES DE LA ARGENTINA**

Falcone Darío \* y Milanese Carlos A. #

\* LEMIT-CIC, Calle 52 entre 121 y 122, La Plata, Argentina, [durabilidad@lemit.gov.ar](mailto:durabilidad@lemit.gov.ar)

# Cementos Avellaneda S. A., Defensa 113, Piso 6, CABA, Argentina, [cam@cavellaneda.com.ar](mailto:cam@cavellaneda.com.ar)

**Palabras clave:** Hormigón, agregados, durabilidad, reacción álcali-sílice, ensayo acelerado

### **RESUMEN**

Para evaluar la reactividad alcalina de los agregados es deseable contar con métodos de ensayos acelerados confiables. El IRAM 1674 resulta atractivo por su celeridad, pero posee ciertas limitaciones al evaluar agregados gruesos. El IRAM 1700 es confiable, pero su extensa duración limita su aplicación práctica. Con miras a resolver estas dificultades, en 2007 se inicia en el LEMIT un programa de estudios destinado a evaluar el desempeño del denominado "método acelerado del prisma de hormigón". En este trabajo se describen los lineamientos de este método y se presentan los resultados obtenidos al ensayar 35 muestras de agregados de diferente tipo, procedencia y mineralogía. En base a los resultados obtenidos, se proponen límites de expansión para juzgar la reactividad de los agregados que se utilizan en Argentina. Este estudio permite concluir que la respuesta alcanzada por el nuevo método acelerado, en comparación a los de uso actual, es altamente satisfactoria.

### **INTRODUCCIÓN**

La mayor parte de los problemas de durabilidad que afectan a las estructuras de hormigón, como la reacción álcali-sílice (RAS), comienzan a manifestarse luego de varios años de finalizada la construcción de las mismas (1).

Este hecho lleva a la necesidad de acelerar los mecanismos de deterioro que se reproducen a escala de laboratorio, de manera de obtener resultados en plazos acordes a los cronogramas de proyecto de las obras, aunque esto acrecienta la incertidumbre del proceso de evaluación (2).

La búsqueda del método acelerado "ideal", que permita predecir con certeza el comportamiento de un agregado en servicio, frente a la RAS, ha mantenido ocupado, durante años, a un gran número de investigadores en todo el mundo. Esto explica la gran cantidad de métodos que existe para evaluar la RAS y porqué la definición de los límites de reactividad perjudicial deben ser revisados permanentemente (3-6).

El método IRAM 1674 (7) resulta particularmente atractivo por su celeridad, aunque adolece de algunas limitaciones, en especial, al evaluar ciertos agregados gruesos (8). En primer lugar, no es aplicable al estudio de la reacción álcali-carbonato (9) y su confiabilidad es limitada para la detección de ciertos agregados que deben su reactividad al cuarzo

tensionado y/o microcristalino (2, 3, 10, 11). El método IRAM 1700 (12), en cambio, es altamente confiable, aunque su extensa duración es habitualmente señalada como su principal desventaja en el campo práctico (13, 14).

Para salvar dichos inconvenientes, nuevos métodos acelerados han aparecido en la literatura, en los últimos años, entre los que se destaca el denominado "método acelerado del prisma de hormigón" (MAPH), propuesto por Ranc y Debray (15).

Este método de ensayo, similar al IRAM 1700, consiste, básicamente, en acelerar el proceso de reacción a través de un incremento de la temperatura de curado de los prismas de ensayo (de 38 °C a 60 °C), bajo condiciones de alta humedad.

A pesar de las objeciones planteadas por algunos investigadores (16), gran parte de la comunidad tecnológica considera al MAPH como una alternativa viable al método del prisma de hormigón (IRAM 1700, CSA A23.2-14A, ASTM C 1293, RILEM AAR-3) para el estudio de la reactividad alcalina de los agregados (17, 18). RILEM ha propuesto, además, extender el uso de este método a otras aplicaciones como la determinación del grado de reactividad del agregado (umbral alcalino) o la evaluación del desempeño de mezclas de obra frente a la RAS (14, 18-20).

En Argentina, este método de ensayo ha sido recientemente incorporado a la IRAM 1700, como anexo normativo, tomando en consideración los antecedentes existentes en el país (11, 21-23).

En comparación al método tradicional (IRAM 1700), el MAPH se destaca por su mayor celeridad (los resultados se obtienen de tres a cinco meses), manteniendo una reproducibilidad equivalente (24). Asimismo, algunos datos señalan que este método posee mayor eficiencia para la identificación de agregados marginales y de reacción lenta (constituidos por cuarzo tensionado y/o microcristalino) (25).

En el año 2007, se inicia en el LEMIT un amplio programa de estudios destinado a evaluar el desempeño del MAPH para determinar la reactividad alcalina potencial de los agregados y el comportamiento de las mezclas de obra frente a la RAS (empleo de hormigones con distintos contenidos de álcalis o el uso de adiciones minerales activas).

En este trabajo se describen los lineamientos de este método y se presentan los resultados obtenidos al ensayar 35 muestras de agregados gruesos y finos, provenientes de rocas de distinto origen geológico (ígneas, sedimentarias y metamórficas), constituidas por minerales de muy diversa reactividad (ópalo, calcedonia, vidrio volcánico y cuarzo tensionado, entre otros).

La respuesta del método es valorada a través de los resultados de expansión obtenidos con los métodos de las normas IRAM 1674 e IRAM 1700.

En base a los resultados obtenidos en estas experiencias, se realiza un análisis crítico de las ventajas y limitaciones del MAPH y se proponen límites de expansión para juzgar la reactividad alcalina de los agregados que se utilizan en Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales

En la tabla 1 se indican los agregados utilizados en este estudio, su clasificación petrográfica y los principales minerales reactivos identificados. El cemento empleado es CPN40, según IRAM 50000 (similar al tipo I, según ASTM C 150), con un contenido de álcalis igual a  $0,9 \pm 0,1$  % de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ .

### Métodos de ensayo

A continuación, se describen, brevemente, los lineamientos del MAPH empleado en este estudio, en base a una modificación del método propuesto por RILEM (19).

Este método consiste en medir los cambios de longitud que experimentan prismas de hormigón, confeccionados con una mezcla de alto contenido de álcalis y el agregado bajo estudio, mantenidos a  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , en condiciones de alta humedad.

Cuando el ensayo se realiza para evaluar la reactividad alcalina del agregado grueso, la arena debe ser inocua y poseer un módulo de finura igual a  $2,70 \pm 0,20$  (un concepto equivalente se aplica cuando se desea evaluar la reactividad del agregado fino). En cualquier caso, el agregado grueso debe fraccionarse en tres partes iguales, entre los tamices IRAM 19,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm y 4,75 mm.

Para el diseño de la mezcla, se utilizan 420 kg de cemento pórtland normal por  $\text{m}^3$  de hormigón. El contenido de álcalis del cemento se eleva a 1,25 % de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ , mediante la adición de NaOH al agua de mezclado, de manera de incrementar el contenido de álcalis del hormigón a 5,25 kg de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ . La relación agregado grueso/fino, en masa, es igual a 1,5. La relación agua/cemento varía entre 0,42 y 0,45, dependiendo de la demanda de agua necesaria para obtener una mezcla de consistencia plástica.

Se moldean tres prismas de hormigón, de 75 mm de lado y una longitud de 300 mm, logrando una longitud efectiva de 254 mm.

Los prismas se desmoldan a las 24 horas de edad y se acondicionan, recubriéndolos con una tela saturada de algodón, colocando sobre ésta un film de polietileno en forma de tubo. Luego de registrar la lectura inicial y el peso de los prismas, estos se colocan dentro de una bolsa plástica, herméticamente cerrada, junto con 5 mL de agua desmineralizada. Este conjunto, a su vez, es introducido dentro de un recipiente plástico, en forma individual (una probeta en cada recipiente), el cual, permite mantener un alto porcentaje de humedad ambiente, al contener agua en su parte inferior (el agua no debe tocar la probeta). El recipiente de almacenamiento se estaciona en una cámara o estufa, mantenida a  $60 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ , hasta las 20 semanas de edad.

Para llevar a cabo la lectura periódica de los prismas, los recipientes de almacenamiento deben retirarse de la estufa  $16 \pm 4$  horas antes, de modo de realizar las lecturas a temperatura ambiente ( $23 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ ). Los cambios de longitud del hormigón deben medirse a las edades de 5, 8, 10, 13, 15 y 20 semanas. Al terminar el estudio, es conveniente examinar la superficie de los prismas y realizar un estudio petrográfico de la microestructura del hormigón a fin de confirmar la existencia de signos de reacción.

Para realizar la evaluación del desempeño del MAPH se utilizaron como ensayos de referencia las metodologías propuestas por IRAM 1674 (7) e IRAM 1700 (12).

**Tabla 1: Agregados evaluados**

Agregado				
Designación	Tipo	Procedencia	Clasificación petrográfica	Minerales reactivos <sup>(1)</sup>
GP	Grueso	Minas (Uruguay)	Cuarcita	Qz <sub>t</sub> , Qz <sub>mc</sub>
CNC	Grueso	Maldonado (Uruguay)	Dolomía	NR
AO	Fino	Río Uruguay (Uruguay)	Arena silícea	NR
CRS <sup>(2)</sup>	Grueso	Entre Ríos (Argentina)	Canto rodado silíceo	Ca, Op
AER	Fino		Arena silícea	Ca, Op
BCC <sup>(2)</sup>	Grueso	Corrientes (Argentina)	Basalto tholeiítico	Tr, Cr, Vv
CRP, CRA, CSR, CRM	Grueso	Mendoza (Argentina)	Canto rodado lítico	Vv
ARP, ARM	Fino		Arena lítica	Vv
GT, T2, T3, T4, T5, GTA, GA, GAZ, GSB	Grueso	Buenos Aires (Argentina)	Migmatita	Qz <sub>t</sub> , Qz <sub>mc</sub>
OP	Grueso		Ortocuarcita	Qz <sub>t</sub> , Qz <sub>mc</sub>
GMI	Grueso		Granodiorita cataclastizada	Qz <sub>t</sub> , Qz <sub>mc</sub>
CMP	Grueso		Cuarcita	Qz <sub>t</sub>
DOL	Grueso		Dolomía	NR
LLC	Grueso		Sienita cuarcífera	NR
CLP	Grueso		Santa Cruz (Argentina)	Grava lítica
RSC	Grueso	Río Negro (Argentina)	Riolita	Vv
ALL	Fino		Arena cuarzo lítica	Vv, Ca
PPN	Grueso	San Luis (Argentina)	Gneiss	Qz <sub>t</sub>
PPC	Grueso		Esquisto	Qz <sub>t</sub>
ASL	Fino		Arena lítica	Qz <sub>t</sub>
ACH	Fino		Arena lítica	Qz <sub>t</sub>
ISE	Grueso	Santiago del Estero (Argentina)	Ignimbrita	Vv
BCO	Grueso	Córdoba (Argentina)	Basalto olivínico	NR

1) Qz<sub>t</sub> y Qz<sub>mc</sub>: Cuarzo tensionado y microcristalino; Ca: Calcedonia; Op: Ópalo; Tr: Tridimita; Cr: Cristobalita; Vv: Vidrio volcánico; NR: No se identifican minerales potencialmente reactivos

2) Existen antecedentes documentados de obras en servicio afectadas por la RAS

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se resumen los resultados de expansión obtenidos con el MAPH y los métodos IRAM 1674 e IRAM 1700, para cada una de las combinaciones de agregados investigadas. En la figura 1 se representan los valores del MAPH, a 13 semanas, en función del resultado obtenido en el ensayo IRAM 1700, a 52 semanas.

Si bien la correlación obtenida es muy pobre ( $R^2 = 0,51$ ), en coincidencia con lo señalado por Shayan *et al.* (25), los agregados constituidos por cuarzo tensionado y/o microcristalino se agrupan, claramente, sobre una línea de tendencia diferente a la del resto de los agregados (la expansión obtenida en el MAPH para estos agregados es un 172 % mayor a la del IRAM 1700). Según las citas bibliográficas consultadas (16, 17, 25, 26), los límites de expansión del MAPH se ubican entre 0,03 % y 0,04 %, a edades comprendidas entre 12 y 20 semanas.

**Tabla 2:** Resultados de expansión del MAPH, IRAM 1674 e IRAM 1700

Designación	Combinación		Expansión (%) del hormigón:		Expansión (%) IRAM 1674 <sup>(1)</sup> (16 días)
	Agregado grueso	Agregado fino	38°C (52 sem.)	60°C (13 sem.)	
1	GP	AO	0,054	0,113	0,238
2	CRS	AER	0,237	0,139	0,042 <sup>(2)</sup>
3	BCC	AER	0,047	0,020	0,377 <sup>(2)</sup>
4	CRP	ARP	0,008	0,018	0,203 <sup>(2)</sup>
5	GT	AO	0,018	0,073	0,087
6	RSC	AO	0,008	0,020	0,155
7	GA	AO	0,026	0,056	0,157
8	OP	AO	0,038	0,098	0,265
9	T2	AO	0,020	0,075	0,121
10	T3	AO	0,020	0,069	0,081
11	T4	AO	0,021	0,089	0,075
12	T5	AO	0,018	0,071	0,073
13	CNC	AO	0,019	0,019	<sup>(3)</sup>
14	PPN	ASL	0,020	0,065	<sup>(3)</sup>
15	PPC	ACH	0,087	0,089	0,068
16	GSB	AO	0,023	0,041	0,136
17	GTA	AO	0,044	0,065	0,161
18	GAZ	AO	0,083	0,106	0,197
19	CMP	AO	0,022	0,045	0,133
20	CLP	AO	0,098	0,100	0,203
21	CRA	AO	0,011	0,018	0,129
22	CSR	AO	0,050	0,062	0,394
23	ISE	AO	0,005	0,006	0,075
24	DOL	AO	0,016	0,022	0,036
25	GMI	AO	0,022	0,084	0,110
26	BCO	AO	0,014	0,015	0,043
27	CRM	AO	0,019	0,022	0,114
28	BCO	ARM	0,004	0,012	0,160 <sup>(4)</sup>
29	BCO	ALL	0,110	0,121	0,527 <sup>(4)</sup>
30	LLC	AO	0,017	0,044	0,019

1) Valor de expansión correspondiente al agregado grueso; 2) Valor de expansión correspondiente a la combinación de agregado grueso (60%) y fino (40%); 3) No disponible; 4) Valor de expansión correspondiente al agregado fino.

Si se adopta un único límite de expansión, común a todos los agregados (0,04 % a 13 semanas), el desempeño del MAPH, medido en función de la cantidad de aciertos (CA)<sup>A</sup> y falsos negativos (F-)<sup>B</sup>, es ligeramente superior al IRAM 1674 (tabla 3). Si en cambio, habida cuenta del comportamiento particular que demuestran los agregados con cuarzo tensionado, se adopta un límite diferenciado para ellos (0,08 % a 13 semanas), la efectividad del MAPH mejora sensiblemente: la CA llega al 82 %, a expensas de una disminución significativa de la cantidad de falsos positivos (F+)<sup>C</sup>, en tanto que la cantidad de falsos negativos (F-) es igual a la del IRAM 1674. Estos F- corresponden a dos agregados de comportamiento marginal (BCC y GTA), con niveles de expansión ligeramente por encima del límite máximo recomendado para el IRAM 1700.

<sup>A</sup> Cantidad de aciertos (CA): número de coincidencias que existe al calificar la reactividad alcalina de un agregado (reactivo o no reactivo) entre el método acelerado (MAPH o IRAM 1674) y el método de referencia (IRAM 1700).

<sup>B</sup> Falso negativo: Término utilizado para describir el caso en el que un método, de manera incorrecta, identifica a un agregado como no reactivo.

<sup>C</sup> Falso positivo: Término utilizado para describir el caso en el que un método, de manera incorrecta, identifica a un agregado como reactivo.

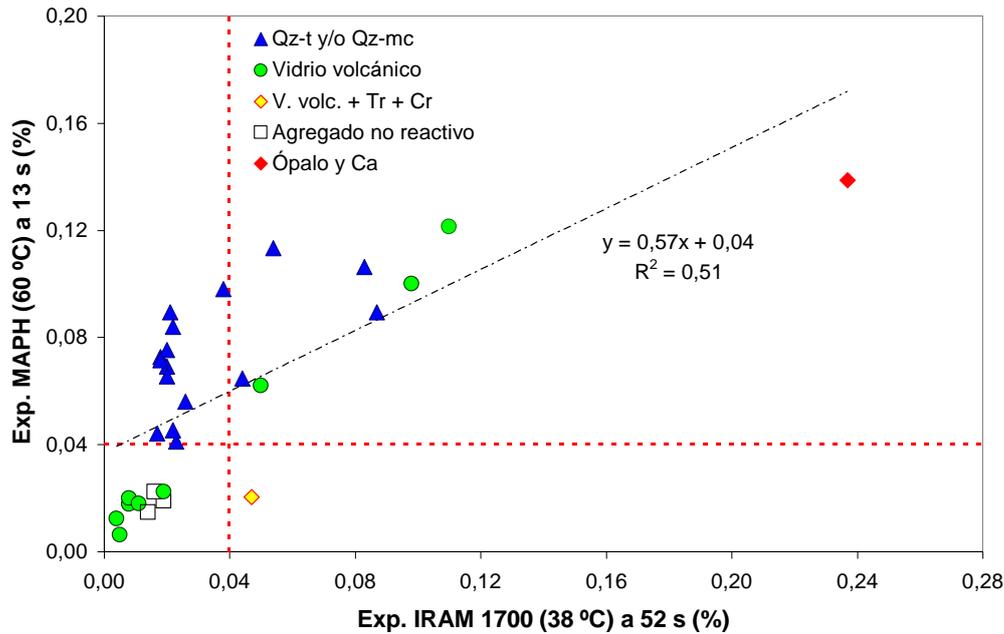


Figura 1: Expansión MAPH (60 °C) vs IRAM 1700 (38 °C).

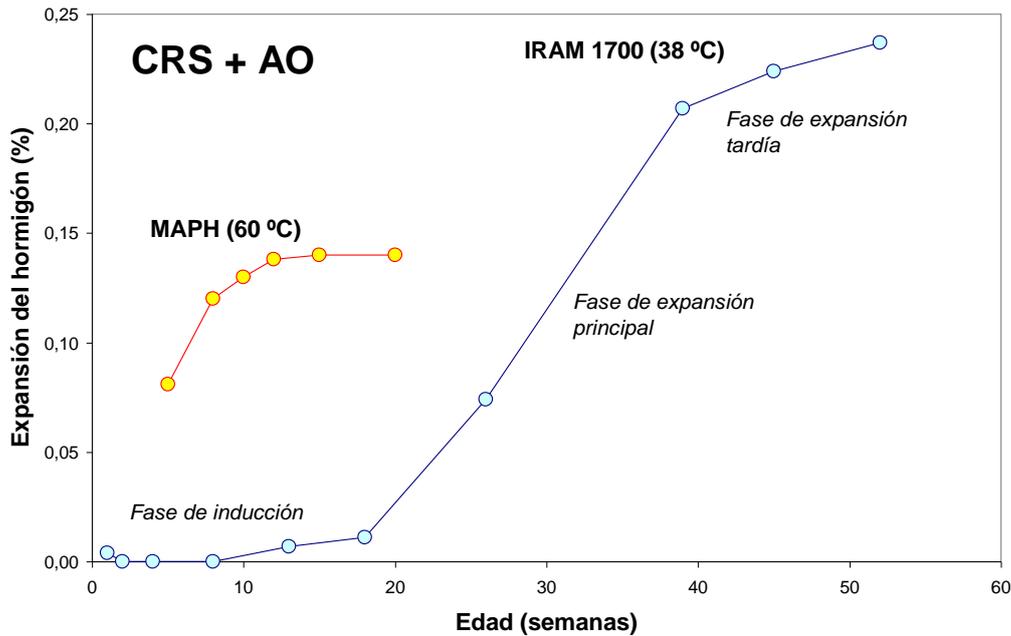
Tabla 3: Comparación del desempeño del MAPH con el IRAM 1674

Criterio de evaluación	Agregados potencialmente reactivos por RAS debido a la presencia de: <sup>(1)</sup>	IRAM 1700 (60 °C)				IRAM 1674			
		Expansión máxima (%)	CA	F+	F-	Expansión máxima (%)	CA	F+	F-
IRAM 1531	Op, Ca, Vv, Tr, Cr, Qz <sub>t</sub> y/o Qz <sub>mc</sub>	0,04	57%	39%	4%	0,10	54%	39%	7%
Este estudio	Sólo por Qz <sub>t</sub> y/o Qz <sub>mc</sub>	0,08	82%	11%	7%				
		Otros minerales (Op, Ca, Vv, Tr, Cr)	0,04						

1) Op: Ópalo; Ca: Calcedonia; Vv: Vidrio volcánico; Tr: Tridimita; Cr: Cristobalita; Q z<sub>t</sub> y/o Q z<sub>mc</sub>: Cuarzo tensionado y/o microcristalino  
2) CA: Cantidad de aciertos (reactivos o no reactivos); F+: Cantidad de falsos positivos; F-: Cantidad de falsos negativos

Es interesante destacar los casos de dos combinaciones de agregados (2 y 4, tabla 2) que poseen comportamientos opuestos frente a la RAS. El agregado grueso CRS (constituido por ópalo y calcedonia) posee antecedentes de reacción en servicio (27) y es identificado correctamente por el MAPH (0,139 % > 0,040 %). Por el contrario, el método IRAM 1674, a pesar de su reconocida rigurosidad, califica esta combinación como no reactiva (0,042 % < 0,100 %), según el criterio del CIRSOC 201 (28). El segundo caso, corresponde a la combinación de agregados CRP+ARP, utilizados en la construcción de un pavimento próximo a la ciudad de Mendoza. Los resultados de expansión obtenidos con el IRAM 1674 fueron elevados (0,203 %) y la inspección descartó el uso de un cemento de bajo contenido de álcalis, exigiendo el empleo de un cemento puzolánico para inhibir la RAS. Los resultados de expansión obtenidos en el hormigón (IRAM 1700 y MAPH) demuestran que esta combinación de agregados es inocua, lo que habría permitido el uso de cualquier tipo de cemento.

En la figura 2 se representan las curvas de evolución de la expansión del hormigón, en función de la temperatura de estacionamiento, para la combinación CRS+AO. En primer lugar, el aumento de la temperatura tiende a eliminar la fase de inducción que se observa, normalmente, a 38 °C. En coincidencia con lo observado por otros investigadores, más allá de las 12 semanas, la expansión del hormigón no crece de manera significativa, lo cual, es atribuido, entre otros factores, a la disminución del pH de la solución de los poros del hormigón.



**Figura 2:** Evolución de la expansión con la temperatura de estacionamiento

## CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados obtenidos en este estudio, es posible resumir las siguientes consideraciones:

El MAPH es de sencilla implementación y permite calificar la reactividad alcalina potencial de un agregado en 13 semanas, reduciendo los plazos del IRAM 1700.

Las expansiones obtenidas con el MAPH, con agregados con cuarzo tensionado y/o microcristalino, son particularmente elevadas, en comparación al IRAM 1700.

Como corolario del punto anterior, surge que la definición de los límites de expansión para juzgar la reactividad alcalina de los agregados debería estar vinculada a su mineralogía.

En base a lo expuesto, se propone el uso de un límite máximo de expansión igual a 0,04 % (o 0,08 %, para los agregados con cuarzo tensionado), a las 13 semanas. Con estos límites, la confiabilidad del MAPH resulta muy superior al del IRAM 1674 (la cantidad de aciertos se incrementa significativamente y se reduce la cantidad de falsos negativos).

## REFERENCIAS

- (1) Batic, O. R., y Sota, J. D., "Durabilidad del hormigón estructural", Capítulo "Reacciones deletéreas internas", E. F. Irassar (Ed.), AATH (2001), pp. 157-216.
- (2) Fournier, B., Nkinamubanzi, P.-C., Lu, D., Thomas, M. D. A., Folliard, K. J., and Ideker, J. H., "Evaluating potential alkali reactivity of concrete aggregates - How reliable are the current and new test methods?", Proc., Marc-André Bérubé Symp. on AAR in Concr., B. Fournier (Ed.), Montreal, Canada (2006), pp. 21-43.
- (3) Shayan, A., Diggins, R. G., Ivanusec, I., and Westgate, P. L., "Accelerated testing of some Australian and overseas aggregates for alkali-aggregate reactivity", CCR, V.18 (1988), pp. 843-851.
- (4) Grattan-Bellew, P. E., "Test methods and criteria for evaluating the potential reactivity of aggregates", Proc., 8<sup>th</sup> ICAAR, K. Okada *et al.* (Eds.), Japón (1989), pp. 279-294.
- (5) Grattan-Bellew, P. E., "A critical review of accelerated ASR tests", Proc., 10<sup>th</sup> ICAAR, A. Shayan (Ed.), Australia (1996), pp. 27-38.

- (6) Bérubé, M. A., and Fournier, B., "Accelerated test method for alkali -aggregate reactivity", Proc., Int. Symp. on Adv. in Concr. Tech., Grecia (1992), pp. 583-627.
- (7) Instituto Argentino de Normalización, "Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero", IRAM 1674 (1997), 14 pp.
- (8) Thomas, M. D. A., Fournier, B., and Folliard, K., "Report on determining the reactivity of concrete aggregates and selecting appropriate measures for preventing deleterious expansion in new concrete construction", Report FHWA -HIF-09-001, FHWA, Washington, EEUU (2008), 21 pp.
- (9) Milanesi, C. A., Marfil, S., Maiza, P. J., and Batic, O. R., "An expansive dolostone from Argentina. The common dilemma: ACR or another variant of ASR?", Proc., 14<sup>th</sup> ICAAR, T. Drimalas *et al.* (Eds.), EEUU (2012), 10 pp. (formato electrónico)
- (10) Milanesi, C. A., y Batic, O. R., "Método de ensayo acelerado NBRI - Criterios a emplear en la evaluación de sus resultados", Memorias, XII Reunión Técnica "Dra. Haydée V. Armándola", AATH (Eds.), Argentina (1995), pp. 179-190.
- (11) Falcone, D. D., Sota, J. D., y Batic, O. R., "Discusión sobre métodos para evaluar agregados potencialmente reactivos", Memorias, XVII Reunión Técnica AATH, V. Rahhal y J. D. Sota (Eds.), Argentina (2008), pp. 329-336.
- (12) Instituto Argentino de Normalización, "Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón debido a la reacción álcali-agregado", IRAM 1700 (1997), 16 pp.
- (13) Fournier, B., and Bérubé, M. A., "Alkali -aggregate reaction in concrete – A review of basic concepts and engineering implications", Can. J. of Civil Eng., V. 27, No. 2 (2000), pp. 167-191.
- (14) Sims, I., and Nixon, P. J., "Assessment of aggregates for alkali -aggregate reactivity potential – RILEM international recommendations", Proc., *Ibid.* 2, pp. 69-89.
- (15) Ranc, R., and Debray, L., "Reference test methods and a performance criterion for concrete structures", Proc., 9<sup>th</sup> ICAAR, A. B. Poole (Ed.), Reino Unido (1992), pp. 824-831.
- (16) Ideker, J. H., East, B. L., Folliard, K. J., Thomas, M. D. A., and Fournier, B., "The current state of the accelerated concrete prism test", Proc., 13<sup>th</sup> ICAAR, M. A. T. M. Broekmans y B. J. Wigum (Eds.), Noruega (2008), 11 pp. (formato electrónico).
- (17) Nixon, P. J., Lindgård, J., Borchers, I., Wigum, B. J., and Schouenborg, B., "The EU 'Partner' Project – European standard test to prevent alkali reactions in aggregates – Final results and recommendations", Proc., *Ibid.* 16, 9 pp.
- (18) Borchers, I., and Müller, C., "Seven years of field site tests to assess reliability of different laboratory test methods for evaluating the alkali-reactivity potential of aggregates", Proc., *Ibid.* 9, 10 pp.
- (19) RILEM, "AAR -4: Accelerated (60°C) concrete prism test", RILEM TC191 -ARP, Draft 3 (2005), 18 pp.
- (20) Association Française de Normalisation, "Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction (essai de performance)", AFNOR P18 -454, Paris, Francia (2004).
- (21) Batic, O. R., Falcone, D. D., Milanesi, C. A., y Violini, D., "Evaluación de la reactividad de los agregados: Avances en la aplicación de un método acelerado del prisma de hormigón", Revista Hormigón, N° 48 (2010), pp. 7-16.
- (22) Batic, O., y Falcone, D., "RAS – Antecedentes para normalizar un método acelerado de prismas de hormigón a 60 °C", Memorias, VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, Cinpar 2010, Argentina (2010), 10 pp. (formato electrónico).
- (23) Falcone, D., Milanesi, C. A., Violini, D., y Batic, O. R., "Evaluación de la reactividad de los agregados – Método acelerado del prisma de hormigón – Parte II", Memorias, VII Congreso Int. sobre Patología y Rehabilitación de Estructuras, Cinpar 2011, Brasil (2011), 11 pp.
- (24) Fournier, B., and Rogers, C., "Multi-laboratory study of accelerated mortar bar test and concrete prism expansion tests at 38 °C and 60 °C", Proc., *Ibid.* 16, 10 pp.
- (25) Shayan, A., Xu, A., and Morris, H., "Comparative study of the concrete prism test (CPT 60 °C, 100 % RH) and other accelerated tests", Proc., *Ibid.* 16, 11 pp.
- (26) Canadian Standards Association, "Appendix B – Alkali-Aggregate Reaction", CSA Standard A23.1-09: Concrete Materials and Methods of Concrete Construction, Canadian Standards Association, Mississauga, Ontario, Canada (2009), pp. 141-163.
- (27) Giovambattista, A., Batic, O. R., and Traversa, L. P., "Reactivity of alkalis and sandstone cemented with opal and chalcedony", Proc., 7<sup>th</sup> ICAAR, P. E. Grattan-Bellew (Ed.), Canadá (1986), pp. 408-412.
- (28) INTI-CIRSOC, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, CIRSOC 201, INTI (2005) (en trámite de aprobación).