



AVANCES EN LA APLICACIÓN DE UN NUEVO MÉTODO ACCELERADO PARA LA EVALUACIÓN DE LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO

Falcone Darío* y Milanese Carlos**

* LEMT – CIC, Calle 52 entre 121 y 122, La Plata, Argentina, durabilidad@lemit.gov.ar

** Cementos Avellaneda S. A, Defensa 113, CABA, Argentina, cam@cavellaneda.com.ar

Palabras Clave: RAS, métodos de ensayos, mineralogía, agregados

RESUMEN

Para evaluar la aptitud de un agregado frente a la reacción álcali-sílice existen numerosos métodos de ensayo acelerados. Si bien, el IRAM 1674 (ASTM C1260) es el de uso más difundido a nivel internacional, adolece de ciertas limitaciones, en particular con algunos agregados gruesos. No es aplicable al estudio de la reacción álcali-carbonato y es limitada su confiabilidad para la detección de ciertos agregados con cuarzo tensionado y/o microcristalino. El objetivo del presente trabajo es dar a conocer los resultados de un programa de estudios, iniciados en el LEMIT en 2010, destinado a evaluar la respuesta de un nuevo método acelerado, de origen chino, cuyo desempeño se muestra promisorio. Se describen los lineamientos del método y se presentan los resultados obtenidos al ensayar 12 muestras de agregados de diversa mineralogía. Para evaluar su confiabilidad, se comparan sus resultados con los del método IRAM 1700 (ASTM C1293).

INTRODUCCION

Debido a la gran variedad de agregados, en cuanto a su origen, composición y estructura, es difícil encontrar un ensayo de aceptación internacional, que posea además carácter universal, a pesar de los importantes avances logrados en este sentido (1).

Generalmente, la evaluación de la reactividad alcalina de un agregado se inicia con el examen petrográfico, seguido de la aplicación de algún método acelerado que permita confirmar las conclusiones del primero (2). Ante la posibilidad que exista alguna contradicción entre ambos, es conveniente complementar los estudios con algún método de largo plazo, de mayor confiabilidad (3).

Si bien, el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674, ASTM C1260) es el ensayo de uso más difundido a nivel internacional, adolece de ciertas limitaciones, en particular con algunos agregados gruesos. En primer lugar, no es aplicable al estudio de la reacción álcali-carbonato (4) y es limitada su confiabilidad para la detección de ciertos

agregados con cuarzo tensionado y/o microcristalino (5). Además, su correlación con el método del prisma de hormigón (IRAM 1700) es muy pobre (3, 6, 7).

Sin duda, el método del prisma de hormigón (IRAM 1700, ASTM C1293) es el ensayo más confiable que existe en la actualidad. No obstante, el extenso período que demanda su ejecución hace inviable su aplicación práctica, transformándolo en un ensayo de *benchmarking* (8).

Lo expuesto, ha llevado a un gran número de investigadores a la búsqueda del método de ensayo "ideal", que sea acelerado, confiable y de aplicación universal. En resumen, el tema no se halla aún resuelto y es materia de investigación permanente (9,10).

Estas dificultades motivaron la realización de experiencias en el país con un nuevo método de ensayo acelerado, de origen chino (MACH) (11), de creciente aceptación a nivel internacional (11,12). Los resultados de estos estudios previos, realizados en el LEMIT (13,14), indicaron que el MACH es sencillo y muy promisorio y poseería un desempeño superior al IRAM 1674 (15).

El objetivo de este trabajo, es evaluar el desempeño del MACH con miras a determinar la reactividad alcalina potencial de los agregados. Se presentan los resultados obtenidos al aplicar este método en 12 agregados de diversa mineralogía, procedentes de distintas regiones de la Argentina (Buenos Aires, Mendoza, Santiago del Estero, San Luis y la Patagonia).

A fin de valorar el desempeño de este método, se comparan sus resultados con los del IRAM 1674, tomando como referencia los resultados del ensayo IRAM 1700.

EXPERIENCIAS

Materiales

La identificación, origen y descripción petrográfica de los agregados empleados en este estudio se indican en la tabla 1. Para la elaboración de los morteros se utilizó un cemento pórtland normal CPN 40, según IRAM 50000 (similar al tipo I, según ASTM C150), con un contenido de óxido de sodio equivalente ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) igual a $0,9 \pm 0,1$ %. Para preparar la solución de estacionamiento y elevar el contenido de álcalis del hormigón hasta $5,25 \text{ kg de Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$, se utilizó NaOH p.a. El agua utilizada para la elaboración de los morteros y hormigones es desmineralizada.

Metodología de ensayo

Para procesar las muestras de agregado se procede de la siguiente manera. Se toma una parte representativa de la muestra y se clasifica, de modo de recomponer la granulometría requerida por el método IRAM 1700. El resto del material, se tritura hasta tamaño arena y se utiliza sólo la fracción comprendida entre los tamices $4,75 \text{ mm}$ y $2,36 \text{ mm}$. La fracción es lavada (para quitar el polvo del proceso de trituración) y secada a 100 ± 5 °C, hasta peso constante.

Tabla 1. Identificación y descripción de los agregados.

Agregados	Designación	Provincia	Descripción
1	GO	Buenos Aires	Granito
2	GA		Granito
3	GT		Granito
4	CMP		Cuarcita
5	DO		Dolomía
6	CRP	Santa Cruz	Grava lítica
7	CRER	Entre Ríos	Canto rodado silíceo
8	CRM1	Mendoza	Grava lítica
9	CRM2		Grava lítica
10	CRSR		Grava lítica
11	ISE	Santiago del Estero	Ignimbrita
12	SL	San Luis	Gneis granítico

Los morteros del MACH se elaboraron con una proporción cemento: agregado, en peso, 1:1. Las cantidades necesarias para obtener tres probetas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm son de 1,0 kg de cemento y 1,0 kg de agregado. La razón agua/cemento (a/c) de la mezcla es igual a 0,33.

El mezclado del mortero es mecánico (4 minutos) y luego se llenan los moldes en dos capas, los que se almacenan a 20 ± 2 °C, sin pérdida de humedad. Las barras se desmoldan a las 24 horas de edad, se realiza una lectura de referencia y se sumergen en agua, a temperatura ambiente, llevando el conjunto a una estufa a 80 ± 2 °C, durante 24 horas. Pasado este tiempo, se realiza la lectura inicial de las barras y se sumergen en una solución 1N de NaOH a 80 °C. Se realizan lecturas periódicas, por ejemplo, cada 48 horas, y a su vez se determina el peso de las probetas hasta los 16 días de edad (13).

La respuesta del MACH es valorada a través de los resultados de expansión obtenidos con el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) y el método del prisma de hormigón (IRAM 1700). Para la elaboración de los hormigones, se empleó una arena silícea no reactiva (arena Oriental), según el criterio de la IRAM 1700.

RESULTADOS

En las figura 1 se representan los resultados de expansión del MACH en función de los obtenidos con el IRAM 1700. Los círculos representan los agregados potencialmente reactivos (expansión > 0,04 % a 52 semanas en el IRAM 1700 o poseen antecedentes de reacción en servicio). Los cuadrados representan agregados de características inocuas.

En la figura 2 se comparan los resultados obtenidos en este estudio con datos informados por otros investigadores (11). Se considera que el agregado es potencialmente reactivo cuando la expansión del mortero, a la edad de 16 días, es superior a 0,093 %, según lo recomendado por Lu *et al.* (11).

En las figuras 3 y 4 se muestra la variación de masa que experimentan los prismas de ensayo del MACH e IRAM 1700, de tres agregados de diferente origen y mineralogía (CRER, GT y CRSR). Si bien las curvas de variación de masa de los prismas del método IRAM 1700 pueden mostrar algunas diferencias, todos experimentan un incremento de masa en el tiempo, atribuido a la absorción de agua por parte de los geles de la RAS. En cambio, la variación de masa de los prismas del MACH, dependen claramente del tipo de agregado, observándose en algún caso disminución de masa.

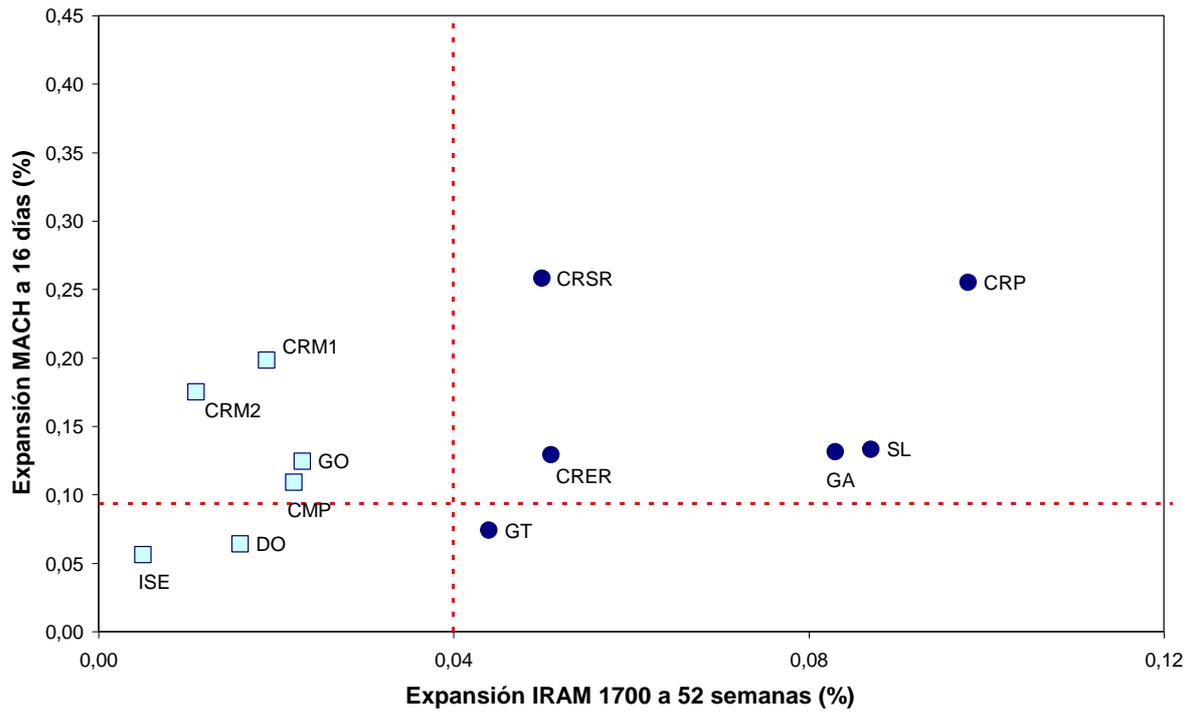


Figura 1. Relación entre la expansión del IRAM 1700 y el MACH

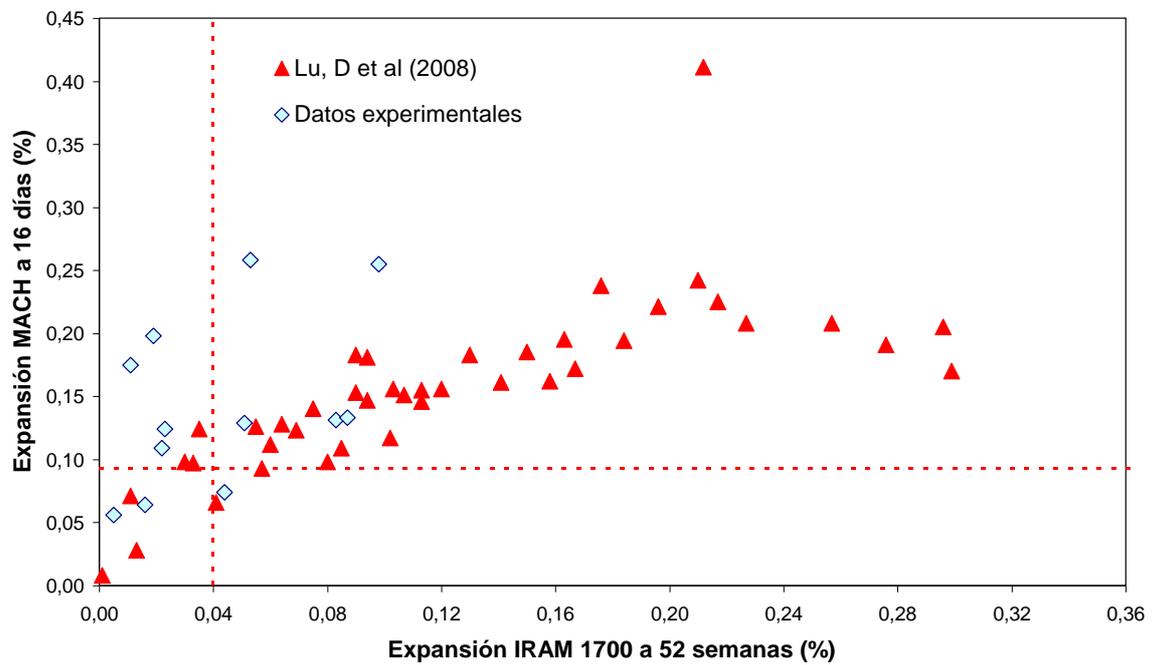


Figura 2. Relación de expansiones con datos de otras investigaciones.

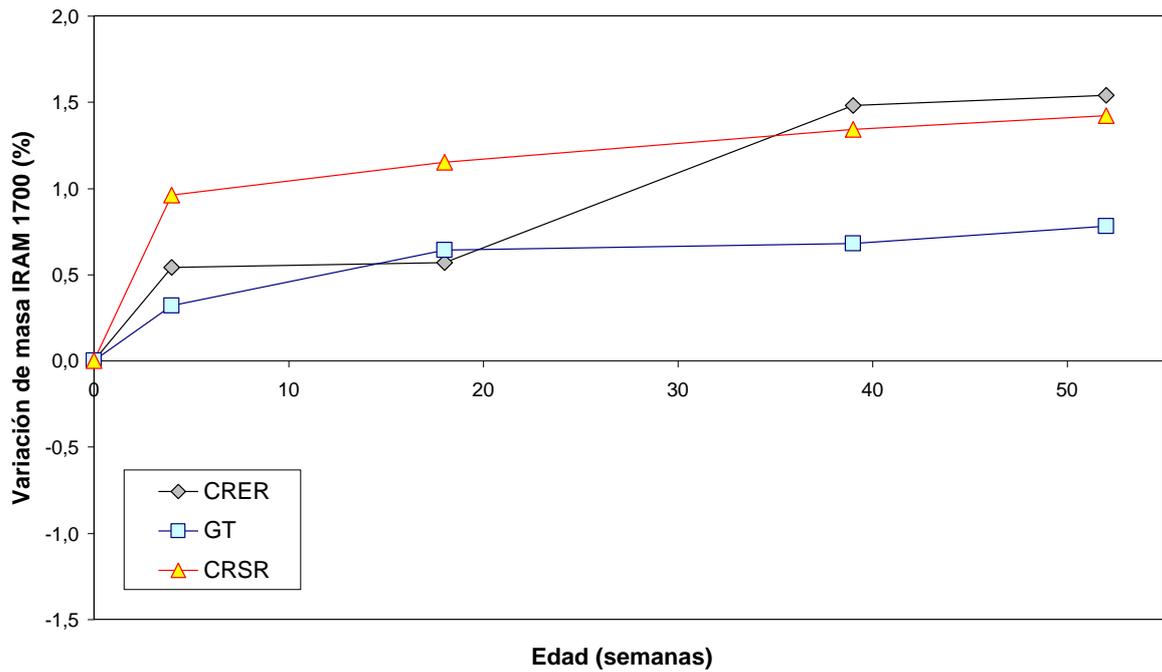


Figura 3. Variación de la masa de los prismas de hormigón del IRAM 1700

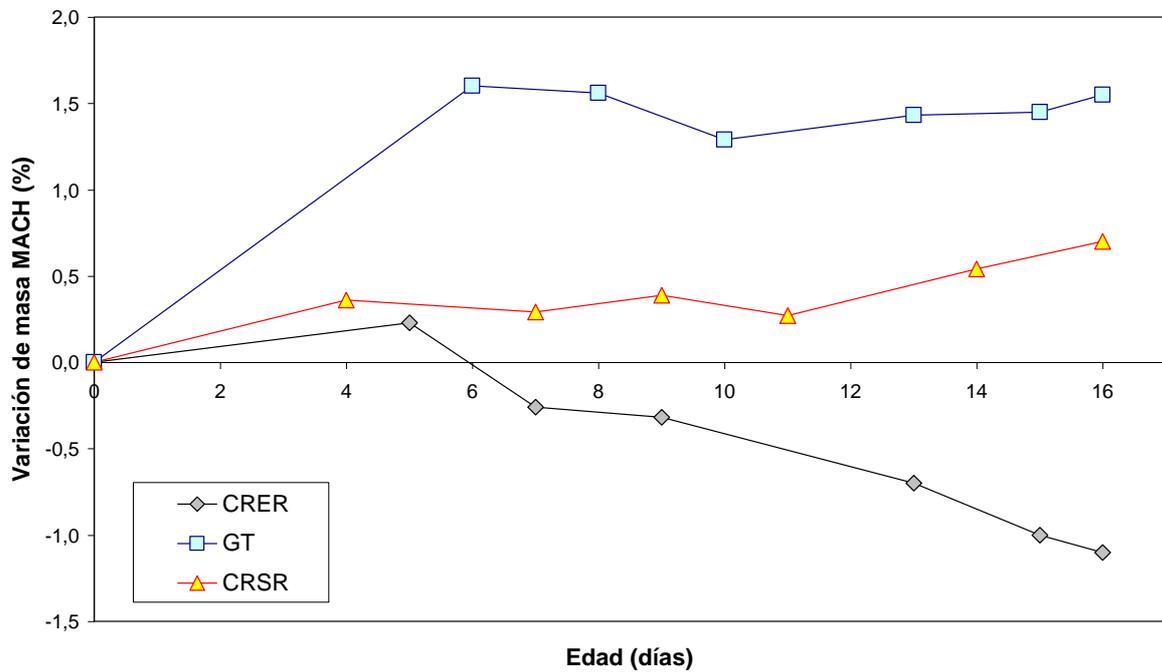


Figura 4. Variación de la masa en el tiempo de las barras de mortero del MACH

DISCUSIÓN

A fin de evaluar el desempeño del MACH, sus resultados de expansión se comparan con los del método IRAM 1674, tomando al método del prisma de hormigón (IRAM 1700) como referencia, por su confiabilidad. Para ello, se recurre al auxilio de tres parámetros (tabla 2): CA (cantidad de aciertos)^A, F+ (falsos positivos)^B, y F- (falsos negativos)^C.

Como puede observarse en la tabla 2, en líneas generales, el MACH posee un mejor desempeño que el IRAM 1674. En efecto, el MACH presenta mayor cantidad de aciertos y menor cantidad de falsos negativos (mayor confiabilidad). La cantidad de falsos positivos, en cambio, resulta equivalente a la del IRAM 1674.

Si bien el MACH posee similitudes con el IRAM 1674, en su concepción, surgen dos diferencias fundamentales que intentan superar los inconvenientes de este último. En primer lugar, el uso de un agregado relativamente grueso en el MACH (partículas entre 2,4 mm a 4,8 mm), permite preservar la textura original de la roca y evita la pérdida inevitable de ciertos minerales reactivos durante el proceso de trituración.

La segunda característica distintiva del MACH, en comparación al método IRAM 1674, es que la sección transversal de las barras es mayor (4.0 cm vs. 2.5 cm). El efecto de este cambio se comprende claramente al analizar la variación de la masa de los prismas de ensayo y resulta útil, en ocasiones, para comprender el mecanismo de expansión del agregado.

Un caso particular en este sentido se da con el canto rodado silíceo de Entre Ríos (CRER). Este agregado debe su reactividad a la presencia de ópalo y calcedonia, los que forman parte de algunos clastos del mismo y del cemento de las rocas sedimentarias que lo constituyen (limolitas y cuarcitas). Estos minerales, por ser altamente solubles en ambiente alcalino, pueden formar geles de baja viscosidad, que escapan fácilmente de la estructura del mortero, haciendo que la barra pierda una importante cantidad de masa a lo largo del ensayo, como se observa en la figura 4.

Este mecanismo permite comprender porqué el MACH es capaz de detectar la reactividad alcalina de este agregado y no así el IRAM 1674, a pesar de tratarse de un agregado de alta reactividad, con antecedentes de reacción en servicio (16).

La explicación de este hecho debe buscarse en el diseño del mortero y el tamaño de las barras de cada método. En efecto, la mayor sección transversal de las barras del MACH, elaboradas con un mortero de alta compacidad (baja a/c), hacen que el gel posea mayor dificultad para difundir a través de éste, teniendo así mayor posibilidad de generar un efecto expansivo en la barra.

^A 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)

^B Falso positivo: Término que se aplica cuando un método de ensayo califica un agregado, de manera incorrecta, como potencialmente reactivo.

^C Falso negativo: Término que se aplica cuando un método de ensayo califica un agregado, de manera incorrecta, como inocuo (no reactivo).

Tabla 2: Comparación del desempeño del MACH con el IRAM 1674

MACH				IRAM 1674			
Expansión máxima (%)	CA ⁽¹⁾	F+ ⁽²⁾	F- ⁽³⁾	Expansión máxima (%)	CA ⁽¹⁾	F+ ⁽²⁾	F- ⁽³⁾
0,093	7/12	4/12	1/12	0,100	6/12	4/12	2/12
	58%	33%	8%		50%	33%	17%

1) CA: Cantidad de aciertos (reactivos o no reactivos); 2) F+: Cantidad de falsos positivos; 3) F-: Cantidad de falsos negativos

Como se observa en la figura 1, la correlación hallada entre el MACH y el IRAM 1700 es muy pobre. Si bien, el desempeño general del MACH resultó superior al del método IRAM 1674, el grado de correlación hallado con el método del prisma de hormigón en estas experiencias está lejos del valor informado por los propulsores del método (11).

CONCLUSIONES

De los estudios realizados es posible realizar las siguientes consideraciones:

El MACH es un método sencillo, especialmente en lo referente al procesamiento previo del agregado.

En los casos estudiados (12 muestras de agregado), el MACH mostró mayor confiabilidad que el IRAM 1674: presentó mayor cantidad de aciertos y menor cantidad de falsos negativos. La cantidad de falsos positivos fue equivalente.

El análisis de la variación de masa de las barras de mortero resulta de utilidad para comprender el mecanismo de expansión del agregado.

Si bien la cantidad de agregados evaluados no permite realizar aún una mayor generalización, parecería que el límite de expansión propuesto por la bibliografía (del orden de 0,10% a 16 días) resulta adecuado para definir la reactividad alcalina de un agregado.

REFERENCIAS

- (1) ACI Committee 221, "State-of-the-art report on alkali-aggregate reactivity", ACI's 2011 Manual of Concrete Practice, ACI 221.1R-98, EEUU (1998), 30 pp.
- (2) Bérubé, M. A., y Fournier, B., "Accelerated test method for alkali-aggregate reactivity", Proc., Int. Symp. on Adv. in Concr. Tech., Greece, (1992), pp. 583-627
- (3) Fournier, B., y Bérubé, M. A., "Alkali -aggregate reaction in concrete – A review of basic concepts and engineering implications", Canadian Journal of Civil Engineering, Special Issue on Alkali-Aggregate Reactivity in Canada, V. 27, No. 2 (2000), pp. 167-191
- (4) Xu, Z., Lan, X., Deng, M., y Tang, M., "A new accelerated method for determining the potential alkali-carbonate reactivity", Proc., 11th Int. Conf. on AAR in Concrete, Bérubé M. A. et al. (Eds.), Canadá (2000), pp. 129-138
- (5) Batic, O., Sota, J., y Falcone, D., "Métodos acelerados para determinar el carácter reactivo de agregados graníticos frente a los álcalis", Memorias, National Conference with international participation "In Situ Behaviour of Construction". 15 th. Edition, Rumania, (2004).
- (6) Batic, O. R., y Milanese, C. A., "Consideraciones sobre el método de expansión de prismas de hormigón al estudio de la reactividad alcalina de los agregados", Memorias, XII Reunión Técnica "Dra. Haydée V. Armándola", AATH (Ed.), Argentina (1995), pp. 149-162

- (7) 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.
- (8) RILEM TC 106-AAR, "International Assessment of aggregates for alkali -reactivity", Materials and Structures, V. 33 (2000), pp. 88-93
- (9) Rogers, C. A., y Hooton, R. D., "Evaluation of rapid test methods for detecting alkali -reactive aggregates", Proc. 8th Int. Conf. on AAR in Concrete, K. Okada et al. (Eds.), Japón (1989), pp. 439-444
- (10) Sims, I, y Nixon, P. J., "Assessment of aggregates for alkali-aggregate reactivity potential - RILEM international recommendations", Proc., Marc-André Bérubé Symposium on Alkali-Aggregate Reactivity in Concrete, B. Fournier B. (Ed.), Canadá (2006), pp. 69-89
- (11) Lu, D., Fournier, B., Grattan-Bellew, P. E., Xu, Z., y Tang, M., "Development of a universal accelerated test for alkali-silica and alkali-carbonate reactivity of concrete aggregates", Materials and Structures, V. 41 (2008), pp. 235-246
- (12) Nixon, P. J, Lindgård, J., Borchers, I., Wigum, B. J., y Schouenborg, B., "The EU "Partner" project - European standard test to prevent alkali reactions in aggregates - Final results and recommendations", Proc. , 13th Int. Conf. on AAR in Concr., M. A. T. M. Broekmans y B. J. Wigum (Eds.), Noruega, 10 pp.
- (13) Falcone, D., y Batic, O., "Aplicación del método acelerado CAMBT para evaluar la reactividad alcalina de agregados", Memorias, XI Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción, CONPAT 2011, Guatemala (2011), 6 pp.(formato electrónico)
- (14) Falcone, D., Milanesi, C., " Reacción álcali-sílice: Otra alternativa acelerada para evaluar a los agregados", Memorias, V III Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, Cinpar 2012, Argentina (2012), 14 pp.(formato electrónico)
- (15) Instituto Argentino de Normalización, "Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero", IRAM 1674 (1997), 14 pp.
- (16) Giovambattista, A., Batic, O. R., y Traversa, L. P., "Reactivity of alkalis and sandstone cemented with opal and chalcedony", Proc., 7th ICAAR, P. E. Grattan -Bellew (Ed.), Canadá (1986), pp. 408-412.