

APLICACIÓN DEL MÉTODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO EN EL ESTUDIO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Darío Falcone^(*,1) y Carlos A. Milanese^(#,2)

^(*)LEMIT – CIC de la provincia de Buenos Aires, UNLP, durabilidad@lemit.gov.ar

^(#)Cementos Avellaneda S.A., Defensa 113 Piso 6, CABA, cam@cavellaneda.com.ar

Palabras claves: Durabilidad, reacción álcali-sílice (RAS), reacción álcali-carbonato (RAC), IRAM 1674, combinación de agregados, CIRSOC 201.

RESUMEN

En Argentina, el método IRAM 1674 (MABM) es utilizado para caracterizar la reactividad alcalina de los agregados, en forma individual o a través de su combinación. Si bien esto último está desaconsejado a nivel internacional, las normas de agregados vigentes (IRAM 1512, IRAM 1531) y el CIRSOC 201-2005 contemplan esta posibilidad. El objetivo del presente trabajo es realizar, en base a la información proveniente de experiencias realizadas por los autores, un análisis crítico del grado de confiabilidad del MABM para caracterizar la combinación de agregados. Los antecedentes disponibles permiten concluir que la aplicación del MABM en la evaluación de “mezclas de agregados”, sólo es aconsejable cuando se intenta verificar si los agregados bajo estudio poseen un comportamiento de tipo “*pessimum*”. El uso extendido del MABM para la evaluación del desempeño de la denominada “mezcla de obra” debe ser reconsiderado a la luz de los resultados informados en este trabajo.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el método acelerado de la barra de mortero (MABM) IRAM 1674 (1), gracias a su celeridad, es el ensayo preferido a la hora de caracterizar los materiales componentes del hormigón (agregados, cementos y adiciones minerales activas) frente a la reacción álcali-sílice (RAS). La experiencia adquirida en el país con este método es considerable y son bien conocidas sus posibilidades y limitaciones (2-4).

En Argentina, este método puede ser empleado con tres finalidades diferentes, en cualquier caso, siempre se adopta el mismo límite máximo de expansión (0,10%, a los 16 días de edad):

- a) Determinar la reactividad alcalina potencial de los agregados que componen la mezcla, ya sea en forma individual o su combinación.

¹Profesional Principal LEMIT – CIC de la provincia de Buenos Aires. Docente UNLP.

²Jefe Departamento Técnico Cementos Avellaneda S.A.

- b) Valorar la capacidad inhibidora de una adición mineral activa (AMA), ya sea formando parte del cemento o como un componente más del hormigón.
- c) Evaluar la efectividad de una mezcla de agregados (sustitución del agregado reactivo por otro no reactivo) como método alternativo de control de la RAS.

El caso “a” se da cuando un agregado, desde el punto de vista petrográfico, resulta potencialmente reactivo y es necesario verificar su reactividad mediante algún método físico (1,6). En este caso, el CIRSOC 201 (5) exige que el MABM se realice sobre los agregados fino y grueso, en forma individual, y también sobre la combinación de ambos (fino + grueso), en la proporción prevista para el hormigón de obra. Cuando de estas evaluaciones surge que el agregado fino, el grueso, o la mezcla de ambos, resultan potencialmente reactivos (expansión $\geq 0,10\%$ a los 16 días), es necesario adoptar alguna solución para inhibir la RAS. Con algunas diferencias, un criterio similar es adoptado por las normas IRAM 1512 e IRAM 1531 (7,8).

Cuando se desea evaluar mediante el MABM si una AMA es efectiva para controlar la RAS (opción “b”), el CIRSOC 201 exige que el mortero sea elaborado con la “mezcla de obra” (materiales y proporciones propuestos para la obra), en tanto que las normas IRAM 1512 y 1531 requieren que el ensayo se realice empleando el agregado bajo estudio (grueso o fino, según corresponda).

Otra de las estrategias, que tanto el CIRSOC 201 como las normas IRAM 1512 y 1531 permiten adoptar para abordar la RAS, consiste en el reemplazo parcial del agregado reactivo por otro no reactivo (opción “c”). Si la “dilución” del agregado reactivo no alcanza para reducir el contenido de minerales potencialmente reactivos, más allá del límite máximo que impone el reglamento, el nuevo agregado (resultante del mencionado reemplazo parcial) debe cumplir con el límite máximo de expansión requerido al ser ensayado con el MABM. Un enfoque similar es adoptado por IRAM.

En resumen, en nuestro país, tanto el reglamento como las normas vigentes, sea para evaluar la reactividad del agregado o bien encontrar una solución tecnológica para inhibir la RAS, aplican el MABM en “mezclas de agregados”, bajo la suposición que el resultado obtenido representa el comportamiento real del material en la obra.

Si bien el método de “dilución” (*sweetening*) es citado con frecuencia en los libros de texto y guías especializadas (9-11), se trata de un recurso cuya aplicación no es aceptada aún de manera universal. Lo dicho, se debe, fundamentalmente, a la limitación de los métodos de ensayo disponibles para la evaluación de las denominadas “mezclas de obra”.

En 1989, Klaric y Romagnoli (12) dan a conocer las primeras experiencias realizadas en el país del uso del MABM en la evaluación de “mezclas de agregados”. Estudios publicados por Batic y Sota (13), ese mismo año, muestran que este método puede ser aplicado con ventajas en el estudio del efecto “pessimum”, como lo postula RILEM (14). No obstante, en la época de estos trabajos, no se contaba aún con un método de referencia eficaz, como el IRAM 1700, que permitiera validar la confiabilidad de los resultados obtenidos con un método acelerado. De hecho, existen estudios a nivel internacional que demuestran que el MABM es inadecuado para evaluar “mezclas de agregados” (15). Asimismo, ASTM y AASHTO prohíben expresamente el empleo del MABM (16) en la evaluación de la combinación de agregados (17-18).

El objetivo del presente trabajo es realizar, en base a la información extraída de referencias bibliográficas recientes y la proveniente de experiencias realizadas por los autores, un análisis crítico del grado de confiabilidad del MABM para caracterizar la combinación de agregados.

Se describen cuatro casos singulares, de estudios de mezclas de agregados gruesos, de reactividad alcalina comprobada, en los que se analiza la respuesta del MABM en comparación a los resultados de expansión obtenidos en mezclas de hormigón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

El cemento empleado es CPN40, según IRAM 50000 (similar al tipo I, según ASTM C150), con un contenido de álcalis igual a $0,9 \pm 0,1\%$ de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$.

Las principales características de los agregados potencialmente reactivos utilizados en este trabajo se describen a continuación:

Canto rodado silíceo (CRS). Se trata de una grava sílico-lítica, procedente de las terrazas del Río Uruguay, en la provincia de Entre Ríos. Está compuesta por una elevada proporción de calcedonia (25 al 50%) y areniscas cementadas con cuarzo microcristalino (20 al 50%), y una menor cantidad de limolitas (7 al 15%), cementadas con ópalo. Debido a su composición mineralógica, este agregado es considerado potencialmente reactivo y posee, además, antecedentes de reacción en servicio (19).

Piedra partida dolomítica (DVA). Se trata de una dolomía subesparítica, procedente de la zona de Valcheta, provincia de Río Negro. Es una roca porosa, de grano muy fino (10 a 30 μm), constituida por dolomita y una pequeña proporción de cuarzo, feldespato y fragmentos de rocas riolíticas, en una matriz fina de naturaleza arcillosa (illita, esmectita y sepiolita). Estudios de laboratorio realizados sobre esta roca (20,21) han puesto de manifiesto que su comportamiento expansivo está vinculado a la reacción álcali-carbonato (RAC).

Piedra partida granítica (MG1 y MG2). Migmatitas graníticas, procedente de la ciudad de Azul, provincia de Buenos Aires. Se trata de agregados de comportamiento conocido, de moderada reactividad (22,23), debido a la presencia de cuarzo tensionado y microcristalino.

Para la conformación de las mezclas se emplearon, además, agregados inocuos, de comportamiento conocido, usados frecuentemente en estudios de laboratorio para la elaboración de mezclas de referencia: dos agregados gruesos, un basalto olivínico, de la provincia de Córdoba, y una migmatita granítica, de la provincia de Buenos Aires, y una arena silícea (Río Uruguay), denominada comúnmente Oriental.

En la tabla 1 se resume la designación de los agregados escogidos (reactivos e inocuos) y sus principales características.

Métodos de ensayo

Los resultados de expansión correspondientes al método acelerado de la barra de mortero (MABM) fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1674 (1). Estos resultados se comparan con los obtenidos con el método del prisma de hormigón (a 38 °C y 60 °C), realizado según el procedimiento indicado en la norma IRAM 1700 (6).

Tabla 1. Agregados evaluados

Designación	Tipo	Procedencia	Clasificación petrográfica	Reactividad alcalina asociada	
				Tipología	Grado de reactividad
CRS	Grueso	Río Uruguay (Entre Ríos)	Grava sílico-lítica	RAS	Muy reactivo (ópalo y calcedonia)
MG1	Grueso	Azul (Buenos Aires)	Migmatita granítica	RAS	Moderadamente reactivo (cuarzo tensionado)
MG2	Grueso	Azul (Buenos Aires)	Migmatita granítica	RAS	Moderadamente reactivo (cuarzo tensionado)
DVA	Grueso	Valcheta (Río Negro)	Dolomía	RAC	Moderadamente reactivo (dolomita)
BCO	Grueso	La Garrapata (Córdoba)	Basalto olivínico	-	No reactivo
MGO	Grueso	Olavarría (Buenos Aires)	Migmatita granítica	-	No reactivo
ARO	Fino	Río Uruguay (Uruguay)	Arena silícea	-	No reactivo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se resumen las mezclas de agregados a evaluar a través del MABM.

Tabla 2. Detalle de las mezclas a evaluar

N°	Mezcla Objeto de la evaluación	Agregado grueso		Agregado fino		Contenido de agregado reactivo presente en la mezcla
		Reactivo	No reactivo	Reactivo	No reactivo	
1	Investigación del efecto "pessimum"	CRS	MGO	-	-	0%, 25%, 50%, 75%, 100%
2	Investigación del efecto "pessimum"	DVA	-	-	ARO	0%, 5%, 20%, 40%, 70%, 100%
3	Evaluación de la mezcla de obra	MG1	BCO	-	ARO	60/0/40, 45/15/40, 30/30/40 (*)
4	Evaluación de la mezcla de obra	MG2	BCO	-	ARO	60/0/40, 45/15/40, 30/30/40 (*)

(*) Proporción (en peso) de los componentes de la mezcla: Agregado grueso reactivo (MG1 o MG2) + agregado grueso no reactivo (BCO) + agregado fino no reactivo (ARO)

Mezcla 1 (CRS+MGO)

Esta mezcla, que resulta de la combinación de un agregado grueso reactivo (CRS), con porcentajes crecientes de un agregado no reactivo (MGO), podría representar un hipotético caso de investigación de la posible existencia de un efecto "pessimum". En la Figura 1 se representan los resultados de expansión obtenidos con el MABM, con cada una de las mezclas evaluadas, a la edad de 16 días.

Como es de esperar, cuando el agregado está constituido por una elevada proporción de materiales altamente reactivos (ópalo y calcedonia), la magnitud de la expansión del mortero no resulta directamente proporcional al contenido del componente reactivo que lo constituye. El máximo nivel de expansión, como ocurre en este caso, se presenta para un % intermedio de sustitución del agregado no reactivo. En otras palabras, cuando el contenido del componente reactivo es mayor o menor que la proporción *pessimum*, la magnitud de la expansión desarrollada es menor.

En resumen, el estudio de la mezcla de agregados (CRS+MGO), en este caso, permite revelar el carácter expansivo del agregado reactivo (CRS), que de otro modo (ensayado en forma individual) sería calificado como marginal (Figura 1) o inocuo (24).

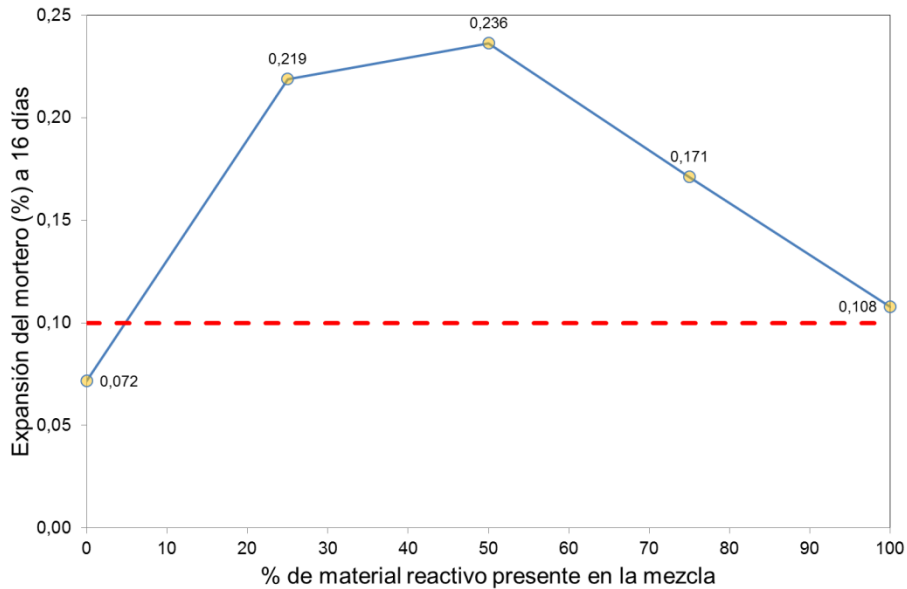
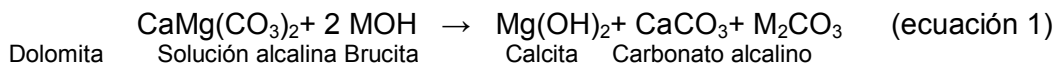


Figura 1. Comportamiento de la mezcla 1 (CRS + MGO)

Mezcla 2 (DVA + ARO)

El comportamiento de esta mezcla es particularmente interesante por cuanto los resultados obtenidos resultan fuera de lo esperado. En efecto (Figura 2), en forma inversa al caso anterior (efecto *pessimum*), a medida que aumenta el contenido del componente reactivo (DVA), la magnitud de la expansión del mortero, lejos de aumentar, disminuye, hasta llegar a un valor mínimo, para un % intermedio de sustitución del agregado no reactivo, el cual, por oposición, podría denominarse "*optimum*".

Este comportamiento anómalo puede explicarse en base a las reacciones químicas que ocurren dentro del mortero. Entre la dolomita y la solución alcalina, presente en los poros del hormigón, existe una reacción química (dedolomitización) (ecuación 1), que puede ser escrita como sigue (donde "M" representa Na o K) (25):



En una segunda etapa (ecuación 2), el carbonato alcalino convierte el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de la pasta de cemento en calcita (CaCO_3):



De este modo, el consumo de calcio (Ca^{2+}), necesario para el progreso de la RAS (26), inhibe la formación del gel silíceo (sin calcio, el gel no precipita) y neutraliza la componente expansiva generada por la reacción (RAS) de la arena silícea (ARO).

De la Figura 2 surge que la mezcla elaborada con la dolomía (DVA) y la arena silícea no reactiva (ARO), en la proporción 60%/40%, podría ser considerada no reactiva. Esto, sin embargo, contradice resultados de experiencias previas que demuestran que mezclas de hormigón, elaboradas con los mismos materiales e idéntica proporción, han mostrado un comportamiento expansivo deletéreo (20,21,25).

Es importante destacar que, según el conocimiento de los autores, esta es la primera vez que este fenómeno (*optimum*) es descrito en la literatura especializada.

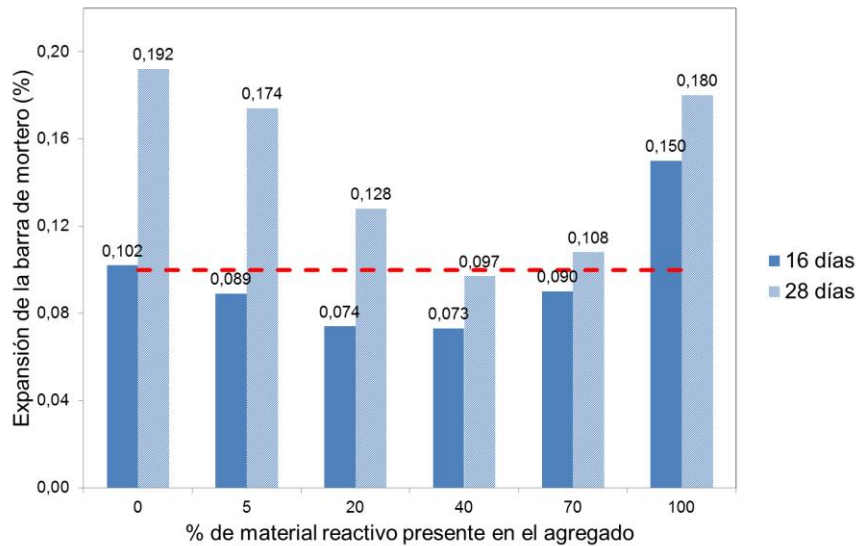


Figura 2. Comportamiento de la mezcla 2 (DVA + ARO)

Mezclas 3 y 4 (MG1/MG2 + BCO + ARO)

En la tabla 3 se resumen los resultados de expansión (IRAM1674, IRAM 1700 a 38 y 60 °C) obtenidos sobre mezclas de dos agregados gruesos de composición granítica.

Una de las características de los agregados que deben su reactividad al cuarzo tensionado y/o microcristalino es que no poseen *pessimum*. Esto es, al mezclar un agregado de este tipo con otro inocuo, la máxima expansión se produce para el 100% de material reactivo. En otras palabras, si diluyo el agregado reactivo, el % de expansión disminuye. Este hecho puede llevar a una interpretación errónea sobre el comportamiento de la mezcla, especialmente en los agregados de comportamiento marginal, por cuanto la tasa de reducción de la expansión del mortero, por efecto de la dilución del agregado reactivo, puede ser diferente a la del hormigón.

Tal es el caso de la mezcla 3 (tabla 3), donde los resultados del MABM sugieren que la RAS podría inhibirse al reducir la proporción del agregado grueso reactivo (MG1), del 60% al 45% (es decir, reemplazando un 25% del agregado grueso reactivo MG1 por otro no reactivo, BCO). Desafortunadamente, esta conclusión es errónea, por cuanto la expansión obtenida en el hormigón (IRAM 1700), dosificado con la misma proporción de agregados, supera el límite máximo admisible.

Tabla 3. Comportamiento de las mezclas 3 y 4 (MG1/MG2+BCO+ARO)

Método de evaluación	Norma	Límite máximo de expansión	Mezcla 3 (MG1+BCO+ARO) (*)			Mezcla 4 (MG2+BCO+ARO) (*)		
			60/40	45/15/40	30/30/40	60/40	45/15/40	30/30/40
IRAM 1674		0,10% a 16 d	0,134	0,047	0,054	0,104	0,037	0,038
IRAM 1700 (38 °C)		0,04% a 52 sem	0,106	0,056	0,036	0,041	0,028	0,018
IRAM 1700 (60 °C)		0,08% a 13 sem	0,098	0,057	0,030	0,118	0,047	0,032

(*) Proporción (en peso) de los agregados en la mezcla (Agreg. grueso 1 + agreg. grueso 2 + agreg. fino)

CONCLUSIONES

A partir de la información disponible, es posible realizar las siguientes consideraciones:

- Las recomendaciones más recientes a nivel internacional (ASTM, AASHTO, FHWA) desestiman el empleo del método IRAM 1674 para evaluar la combinación de dos o más agregados.
- Como excepción, la aplicación del método IRAM 1674, para la evaluación de mezclas de agregados, sólo es aconsejable cuando se intenta verificar si los agregados bajo estudio poseen un comportamiento de tipo “*pessimum*”.
- La interpretación de los resultados que brinda el método IRAM 1674, en virtud de las rigurosas condiciones del ensayo, resulta, muchas veces, compleja. Esta situación se agudiza en el caso de mezclas de agregados, donde reacciones químicas colaterales pueden potenciar o inhibir los fenómenos expansivos del agregado reactivo bajo estudio, describiendo un comportamiento que se aleja de la conducta real que tendría el agregado bajo las condiciones de obra. Un caso interesante, descrito en este trabajo, aparece cuando se combina un agregado dolomítico con otro que experimenta RAS, dando lugar a un fenómeno de tipo “*optimum*”, inédito en la literatura técnica.
- La implementación del método IRAM 1674, para evaluar la efectividad de una AMA para el control de la RAS, según los lineamientos del CIRSOC 201 (ensayo de la “mezcla de obra”), debe ser reconsiderada a la luz de los resultados informados en este trabajo. El enfoque que plantean las normas IRAM 1512 y 1531 es más adecuado, por cuanto consiste en ensayar el ligante propuesto para la obra (cemento + AMA, en caso de corresponder), con cada uno de los agregados reactivos (grueso y fino), en forma individual.
- Una consideración similar a la del párrafo anterior corresponde al empleo del método IRAM 1674 para evaluar la respuesta del denominado método de dilución (combinación de un agregado reactivo por otro no reactivo), en la búsqueda de una alternativa para inhibir la RAS. Hasta tanto se disponga de un método confiable para la evaluación de las “mezclas de obra”, esta estrategia debería abordarse mediante el método del prisma de hormigón (IRAM 1700).

REFERENCIAS

- (1) Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), “Agregados – Determinación de la reactividad alcalina potencial – Método acelerado de la barra de mortero”, Norma IRAM 1674, IRAM, (1997), 14 pp.
- (2) Milanesi, C.A., Batic, O.R., “Método de ensayo acelerado NBRI – Criterios a emplear en la evaluación de sus resultados”, Memorias, XII Reunión Técnica, AATH, La Plata (Argentina), (1995), pp. 179-190.
- (3) Falcone, D.D., “Antecedentes y metodología de ensayo para evaluar la reacción álcali-sílice”, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, (2013), 128 pp.
- (4) Falcone, D., Milanesi, C.A., “Evaluación de la reacción álcali-agregado: Posibilidades y limitaciones de los métodos de ensayos disponibles”, Memorias, XX Reunión Técnica “Ing. Alberto S.C. Fava”, Sota, J.D. (editor), Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), Concordia, Entre Ríos (Argentina), (2014), pp. 319-326.
- (5) INTI-CIRSOC, “Especificaciones por resistencia y durabilidad”, Capítulo 2, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón – CIRSOC 201, Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, Secretaría de Obras Públicas de la Nación, (2005), pp. 26-30.
- (6) Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), “Agregados – Métodos para la determinación del cambio de largo en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado”, Norma IRAM 1700, (2013), 16 pp.

- (7) Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), "Agregado fino para hormigón de cemento – Requisitos", Norma IRAM 1512, Cuarta edición, IRAM, (2013), 25 pp.
- (8) Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), "Agregado grueso para hormigón de cemento – Requisitos", Norma IRAM 1531, Cuarta edición, IRAM, (2012), 28 pp.
- (9) Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., "Concrete: Microstructure, properties, and materials", 3rd edition, The McGraw-Hill Companies, New York, (1986), 659 pp.
- (10) Mindess, S., Young J.F., "Concrete", Prentice-Hall, EnglewoodCliffs, N. Jersey (1981) 671 pp.
- (11) ACI Committee 221, "State-of-the-art report on alkali-aggregate reactivity", ACI 221.1R-98 (Reapproved 2008), ACI's 2011 Manual of Concrete Practice, Farmington Hills (USA), (1998), 30 pp.
- (12) Klaric, M.E., Romagnoli, R., "Evaluación de la reactividad alcalina potencial de agregados mediante el ensayo acelerado del NBRI", Memorias, IX Reunión Técnica "Ing. Simón A. Delpech", AATH (editores), Buenos Aires (Argentina), Vol. 1, (1989), pp. 251-270.
- (13) Batic, O.R., Sota, J.D., "Reacción álcali-agregado – Aplicación de un método acelerado", Memorias, IX Reunión Técnica "Ing. Simón A. Delpech", AATH (editores), Buenos Aires (Argentina), Vol. 1, (1989), pp. 67-77.
- (14) RILEM Technical Committee 219-ACS, "RILEM recommendations for the prevention of damage by alkali-aggregate reactions in new concrete structures" (e-book), Nixon, P.J. & Sims, I. (editors), Springer, (2016), 168 pp.
- (15) Drimalas, T., Ideker, J.H., Arrieta, G., Folliard, K.J., Fournier, B.F., Thomas M.D.A., "Evaluating combination of aggregates in the accelerated mortar bar test", Proceedings, 14th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete (ICAAR), Drimalas, T., Ideker, J.H., & Fournier, B. (editors), Austin, Texas (USA), (2012), 10 pp.
- (16) ASTM, "Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method)", ASTM C1260-07, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, USA, 04.02 (Concrete and Aggregates), (2012), 5 pp.
- (17) AASHTO, "Standard practice for determining the reactivity of concrete aggregates and selecting appropriate measures for preventing deleterious expansion in new concrete construction", AASHTO PP 65-10, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing - Provisional Standards, AASHTO, Washington, D.C. (USA), (2010), 20 pp.
- (18) ASTM, "Standard guide for reducing of deleterious alkali-aggregate reaction in concrete", ASTM C1778-14, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, USA, 04.02 (Concrete and Aggregates), (2014), 11 pp.
- (19) Giovambattista, A., Batic, O.R., Traversa, L.P., "Reactivity of alkalis and sandstone cemented with opal and chalcedony", Proceedings, 7th ICAAR, Ottawa (Canada), Grattan-Bellew P.E. (editor), New Jersey (USA), Noyes Publications, (1986), pp. 408-412.
- (20) Milanese, C.A., Marfil, S., Maiza, P.J., Batic, O.R., "An expansive dolostone from Argentina – The common dilemma: ACR or another variant of ASR?", Proceedings, 14th ICAAR, Drimalas, T., Ideker, J. H., & Fournier B. (editors), Texas (USA), (2012), 10 pp.
- (21) Milanese, C.A., Locati, F., Marfil, S., "Microstructural and chemical study on an expansive dolostone from Argentina", Proceedings, 15th ICAAR, San Pablo (Brasil), (2016), pp. 10.
- (22) Batic, O.R., Milanese, C.A., Sota, J.D., "Evaluación de la eficiencia de las adiciones minerales activas en el control de la reacción álcali-sílice en hormigones elaborados con agregados de reacción lenta o diferida", Revista Hormigón, N° 40, AATH, (Julio 2003-Junio 2004), pp. 19-29
- (23) Falcone, D., Milanese, C.A., "Método acelerado del prisma de hormigón – Evaluación de la RAS con agregados de diversas regiones de la Argentina", Memorias, XIX Reunión Técnica "Ing. Oscar R. Batic", Sota, J.D., Ortega, N.F. y Moro, J.M. (editores), AATH, Bahía Blanca, Buenos Aires (Argentina), (2012), pp. 215-222.
- (24) Cosentino, J.M., Avid, F., Saad, E., Sota, J.D., Voscoboinik, L., "Agregados aluvionales de la provincia de Entre Ríos – Su comportamiento frente a la RAS", Revista Hormigón, N° 47 (2009), pp. 7-17.
- (25) Milanese, C.A., "Estudio de la reactividad alcalina potencial de algunas rocas dolomíticas de la Argentina frente a la reacción álcali-carbonato", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, (2013), 225 pp.
- (26) Wang, H., Guillott, J.E., "Mechanism of alkali-silica reaction and the significance of calcium hydroxide", Cement and Concrete Research, Vol. 21, (1991), pp. 647-654.