



## Evaluación de la Aptitud de una Roca Dolomítica para Uso en Hormigones frente a la Reacción Alcali-Agregado

**Palabras clave:** reacción álcali-carbonato, reacción álcali-sílice, durabilidad, agregados

### Resumen

Cementos Avellaneda S. A., en la zona de Olavarría, provincia de Buenos Aires, dispone de yacimientos de rocas calcáreas para la fabricación de cales, cementos y agregados. Dentro de las rocas disponibles, existen dolomías que resultan aptas para su empleo como agregado para hormigones de cemento portland, tal como ocurre en otros países, como EEUU y Canadá, que ocupan un lugar de privilegio en el campo de la tecnología del hormigón.

Uno de los aspectos de la durabilidad de estos agregados que mereció particular atención fue la caracterización de los mismos, no sólo frente a la reacción álcali-sílice (RAS), sino también frente a la reacción álcali-carbonato (RAC), por tratarse de rocas de naturaleza dolomítica.

En el presente trabajo se informan los resultados de estos estudios, entre los que se incluyen el examen petrográfico de la roca (IRAM 1649) y la determinación de la expansión del agregado en barras de mortero (IRAM 1674) y prismas de hormigón (IRAM 1700).

Los resultados obtenidos en estos estudios permiten concluir que el agregado evaluado presenta un comportamiento altamente estable en ambiente alcalino, tanto frente a la RAS como a la RAC, lo cual, corrobora la aptitud de esta roca para el fin propuesto.

### Introducción

Cuando se requiere evaluar la aptitud de un agregado para su uso en hormigones, uno de los aspectos que es necesario evaluar es su reactividad alcalina potencial, ante la eventualidad de tener que emplearlo en estructuras que puedan estar en contacto con agua o ambientes de alta humedad.

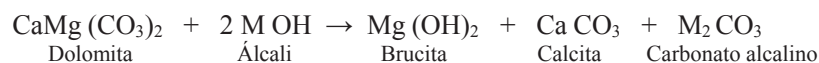
Actualmente, se acepta que las reacciones químicas expansivas que pueden tener lugar entre los elementos presentes en la solución de poros del hormigón y los minerales que constituyen los agregados se dividen en dos tipos: reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC) (1).

Sin duda alguna, la RAS constituye un problema de durabilidad real en numerosos países del mundo (2), incluso en Argentina (3-6), donde esta patología se conoce desde hace más de 50 años (7). No obstante, el conocimiento adquirido, hasta el presente, sobre esta reacción, ha puesto a disposición del tecnólogo distintas alternativas de prevención, posibilitando así la construcción de estructuras de hormigón con un grado razonable de seguridad (8).

Con relación a la RAC, en cambio, el escenario es radicalmente diferente. Afortunadamente, se trata de una reacción deletérea de muy rara ocurrencia, que ha sido constatada sólo en cuatro países del mundo: EE.UU., Canadá, China y Austria (9). En Argentina, si bien se han llevado a cabo numerosas investigaciones en este tema (10-12), hasta el momento, no se conocen antecedentes de obras en servicio que hayan resultado afectadas por esta reacción.

Si bien las manifestaciones externas en las estructuras afectadas por la RAC son muy similares a los de la RAS (fisuras en forma de mapa, cierre de juntas y expulsión del material de sellado, etc.), los mecanismos de expansión que operan en cada caso son diferentes.

En la RAC, en lugar de la formación de un gel silíceo expansivo, se produce un cambio en la composición mineralógica del agregado, como resultado de la reacción entre la dolomita y la solución alcalina del hormigón, conocida como “reacción de desdolomitización” (18):



Donde “M” representa Na, K o Li.

En base a la hipótesis propuesta por Tang y colaboradores (20), la expansión del hormigón se produce merced al crecimiento y reordenamiento de los cristales de brucita y calcita, dentro de los espacios limitados de la microestructura de la roca (originalmente ocupados por los cristales de dolomita), oficiando la red arcillosa como “vía de acceso”, a través de la cual, los iones hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ) y alcalinos ( $\text{K}^+$  o  $\text{Na}^+$ ), pueden migrar hacia el interior de la misma.

En este punto, es importante aclarar que los términos “reacción” y “expansión” no son sinónimos ya que, en la mayoría de los casos, entre los agregados carbonáticos y la pasta de cemento se producen reacciones benéficas, que mejoran la adherencia de las zonas de interfase y no provocan expansión en el hormigón (1, 21-23).

Otra característica distintiva de la RAC es que el uso de adiciones minerales activas (puzolanas, escorias, etc.) o aditivos químicos a base de litio no resulta efectivo para inhibir las expansiones generadas por esta reacción (13-17). Mejores respuestas se han obtenido, por ejemplo, diluyendo el agregado reactivo, limitando su tamaño máximo o bien, reduciendo el contenido de álcalis del hormigón (18, 19).

En general, las rocas altamente reactivas son calizas dolomíticas (o dolomías calcíticas) arcillosas, que contienen mezclas de calcita y dolomita, en cantidades aproximadamente iguales, y un contenido de residuo insoluble en ácido mayor al 5 %. Desde el punto de vista petrográfico, estas rocas poseen una textura característica que resulta de la existencia de pequeños cristales de dolomita (del orden de 50  $\mu\text{m}$ , en promedio), diseminados en una matriz de grano muy fino de calcita ( $< 2 \mu\text{m}$ ) y arcilla, y pequeñas concentraciones de cuarzo y otros minerales detríticos (1, 24).

Cementos Avellaneda S. A., en la zona de Olavarría, provincia de Buenos Aires, dispone de yacimientos de rocas calcáreas para la fabricación de cales, cementos y agregados. Dentro de las rocas disponibles, existen dolomías que resultan aptas para su empleo como agregado para hormigones de cemento portland (25), tal como ocurre en muchos otros países, como EEUU y Canadá (26), que ocupan un lugar de privilegio en el campo de la tecnología del hormigón.

Con la finalidad de evaluar la aptitud de estos agregados, como parte integrante del hormigón, se decidió abordar el estudio de manera integral, analizando su respuesta, no sólo desde el punto de vista mecánico sino también químico (reactividad alcalina). Los resultados del comportamiento mecánico del hormigón se informan en otros trabajos presentados en este mismo congreso (27, 28).

Por tratarse de rocas de naturaleza dolomítica, el estudio de la durabilidad de estos agregados mereció particular atención, frente a la posibilidad de la ocurrencia de la RAC, además de la RAS.

En el presente trabajo se informan los resultados de los estudios de reactividad alcalina, realizados sobre diferentes muestras de roca dolomítica, extraídas de distintos frentes de cantera, entre los que se incluyen el examen petrográfico de la roca (IRAM 1649), la determinación de la expansión del agregado en barras de mortero (IRAM 1674) y prismas de hormigón (IRAM 1700) y la evaluación de los cambios mineralógicos ocurridos en las zonas de interfase matriz-agregado.

## **Material y Métodos**

Sobre las muestras de dolomía, extraídas, tanto de los frentes de cantera en explotación, como de los acopios de planta, se realizaron los siguientes estudios:

Examen petrográfico. La composición mineralógica del agregado fue investigada siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1649. Para ello, se enviaron muestras gemelas a tres laboratorios geológicos, de reconocido prestigio, tanto a nivel nacional como internacional, donde las muestras fueron evaluadas mediante la observación de cortes delgados (microscopía óptica), complementada mediante difracción de rayos X (DRX).

Ensayo acelerado de expansión de barras de mortero (NBRI). Este ensayo se realizó siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1674. Si bien, es sabido que este método no es aplicable para el estudio de agregados que resultan potencialmente reactivos frente a la RAC (16, 17), un comportamiento expansivo del mortero permitiría advertir la posible existencia de RAS.

Ensayo de expansión del prisma de hormigón. Este método fue empleado para evaluar la reactividad alcalina de la roca, empleada como agregado grueso, junto con una arena natural, de comportamiento inocuo, siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 1700.

El ensayo consiste, básicamente, en la determinación de la expansión de prismas de hormigón, de 7,5 cm x 10 cm x 32 cm, empleando la dolomía como agregado grueso (tamaño máximo  $\frac{3}{4}$ "'), conjuntamente con una arena silícea, no reactiva, elevando el contenido de álcalis de la mezcla a 5,25 kg de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{equiv}}/\text{m}^3$ . Los prismas, a lo largo de todo el ensayo, son mantenidos en condiciones de alta humedad, a 38°C.

Este ensayo, a diferencia del NBRI, es el único método confiable disponible, con acuerdo a nivel internacional, para evaluar la reactividad alcalina deletérea de un agregado, sea ésta originada por la RAS o por la RAC, siendo considerados sus resultados definitivos (16, 17).

Adicionalmente, al finalizar el ensayo (1 año), se efectuaron cortes delgados de los prismas de hormigón a fin de observar el estado general de la microestructura del material, en especial, de las interfases matriz-agregado y los cambios mineralógicos producidos en estos. Estos exámenes fueron repetidos a edades más avanzadas (4,5 y 8 años) y complementados mediante estudios de difracción de rayos X (DRX) de muestras de agregados extraídas del hormigón.

## **Resultados**

A continuación se resumen los resultados obtenidos con cada uno de los métodos de ensayo descriptos precedentemente, efectuados sobre distintas muestras de roca, como parte de los controles de rutina.

Examen petrográfico. Desde el punto de vista macroscópico, la roca presenta una coloración grisácea a castaño amarillenta, con bandas ocasionales, de hasta 4 mm de espesor, de color gris. Se trata de una roca compacta y fresca, de grano fino.

A nivel microscópico, la textura de la roca es granular, variando de esparítica a subesparítica. Los granos de dolomita, en una proporción superior al 85 %, se muestran, en general, con formas rómbicas euhedrales a subhedrales, con un tamaño promedio superior a 100  $\mu\text{m}$ , con valores mínimos y máximos del orden de 15  $\mu\text{m}$  y 450  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

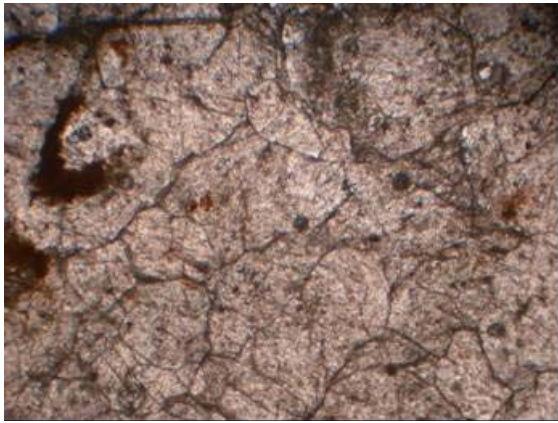
En una cantidad usualmente menor al 10 % aparecen, en forma intersticial, cristales anhedrales de cuarzo microcristalino (< 100  $\mu\text{m}$ ), escasamente deformados, y sílice criptocristalina. El chert se encuentra en muy escasa proporción (< 3 %) y su ocurrencia está limitada a pequeños agregados microcristalinos que acompañan a los poros silíceos. La cantidad de ópalo, estimada mediante DRX, es inferior a 0,02 %.

La proporción de calcita, determinada mediante DRX, es muy escasa y, por lo general, es inferior al 10 %. El resto de los minerales que componen la roca lo conforman arcillas (illita) y óxidos de hierro.

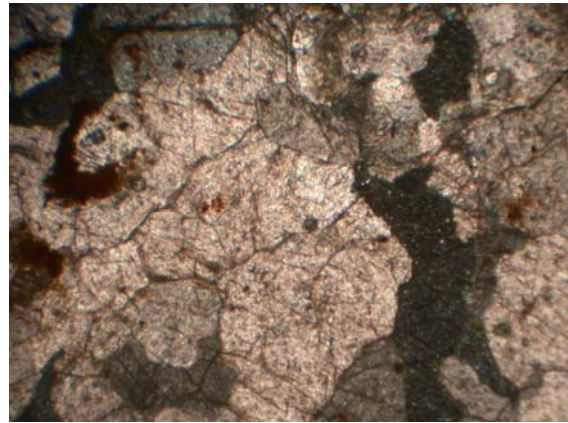
El residuo ácido insoluble varía entre el 7 % y el 13 %.

En las fotografías 1 a 4 se muestra el aspecto de algunos cortes delgados de la roca original.

Expansión en barras de mortero y prismas de hormigón. En la tabla 1 se resumen los resultados de expansión obtenidos con los métodos IRAM 1647 e IRAM 1700.



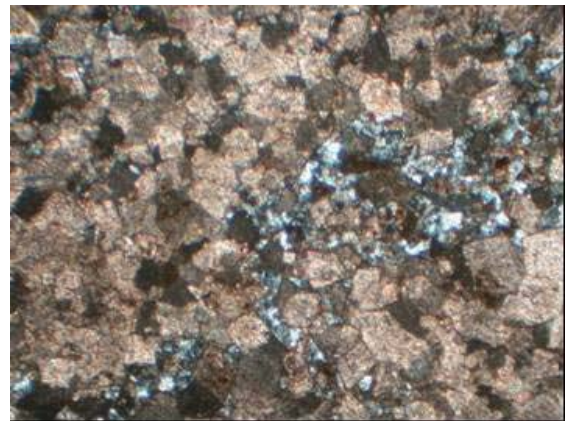
**Fotografía 1.** Cristales anhedrales a subhedrales de dolomita reemplazados parcialmente por chert. Sin analizador (x 400)



**Fotografía 2.** Fotografía 1 con analizador (x 400)



**Fotografía 3.** Romboedros de dolomita (25  $\mu\text{m}$  a 75  $\mu\text{m}$ ), con cuarzo microcristalino (< 20  $\mu\text{m}$ ). Sin analizador (x 400)



**Fotografía 4.** Fotografía 3 con analizador (x 400)

**Tabla 1.** Resultados de expansión obtenidos en mortero y hormigón

Agregado dolomítico (designación)	Expansión del mortero IRAM 1674 a 16 días (%)		Expansión del hormigón IRAM 1700 a 52 semanas (%)	
	Resultado individual	Límite máximo	Resultado individual	Límite máximo
D1	0,071	0,100	0,010	0,040
D2	0,012		-	
D3	0,052		0,007	
D4	0,062		0,005	
D5	0,039		0,006	
D6	0,024		0,015 <sup>(*)</sup>	

(\*) Expansión a 47 semanas

Al cabo de 1 año (52 semanas), se efectuaron cortes delgados de los prismas de hormigón elaborados con los agregados D4 y D5, a fin de observar el estado general de la microestructura del material, en especial, de las interfases matriz-agregado (ZIF) y los cambios mineralógicos producidos en estos.

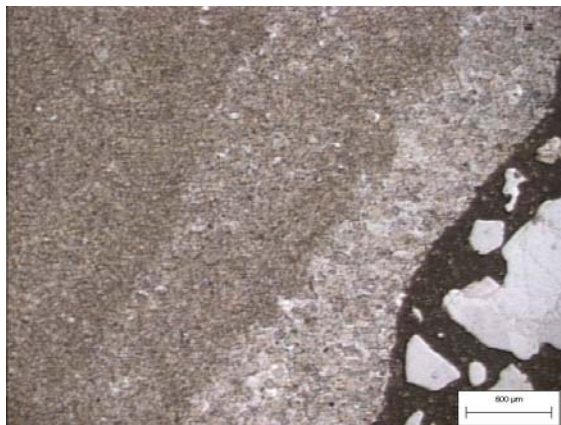


Como es de esperar, en virtud de la elevada estabilidad volumétrica demostrada por el hormigón (expansión del orden de 0,005 %), el análisis efectuado no reveló la existencia de signos de deterioro. Las ZIF se muestran densas y homogéneas, en tanto que no se observan fisuras ni productos o manifestaciones de reacción asociados con la RAS o RAC (geles, bordes de reacción, etc.).

Estos exámenes fueron repetidos a edades más avanzadas y complementados mediante estudios de DRX de muestras de agregados extraídas del hormigón.

En la fotografía 5 se muestra el aspecto que presenta la ZIF de una muestra de hormigón elaborado con la dolomía D3, luego de 4,5 años de estacionamiento, bajo las condiciones del ensayo IRAM 1700 (expansión<sub>4,5 años</sub> < 0,020 %). Se observa, claramente, el desarrollo de un proceso de desdolomitización, sobre una partícula de dolomía de grano muy fino, donde aparecen zonas concéntricas con diferentes tipos de cristalización. En este caso, no se observan fisuras en el agregado grueso ni evidencias de RAS.

En la fotografía 6 (vista con estéreo-microscopio), se muestra una partícula de agregado grueso dolomítico (D1), correspondiente a un hormigón de 8 años de edad (expansión<sub>8 años</sub> < 0,040 %), que ha experimentado un proceso de desdolomitización en su zona periférica, mientras el núcleo conserva la composición y textura de la roca original.



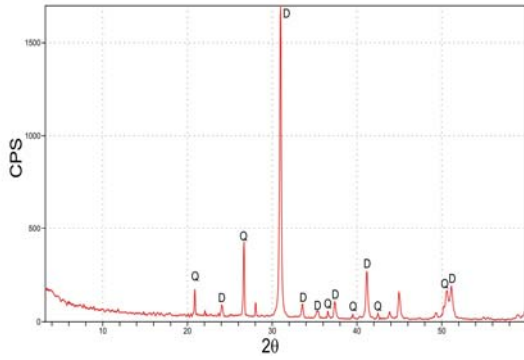
**Fotografía 5.** Sección delgada de un prisma de hormigón IRAM 1700 (edad: 4,5 años)



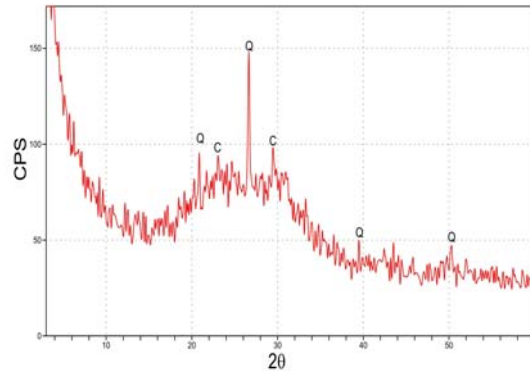
**Fotografía 6.** Aspecto de la zona de interfase dolomía-mortero de un prisma de hormigón IRAM 1700 (edad: 8 años)

En la figura 1 se muestra el resultado del análisis efectuado mediante DRX, realizado sobre el material proveniente del núcleo de una partícula de agregado grueso (D1), similar a la que se muestra en la fotografía 6 (edad del hormigón: 8 años), en la que sólo se observan reflexiones de dolomita (D), con cantidades subordinadas de cuarzo (Q).

En la figura 2, se muestra el resultado obtenido sobre una muestra extraída de la zona de borde del agregado grueso (fotografía 6), donde sólo se observan reflexiones de calcita y cuarzo, sin dolomita, lo cual, confirma la existencia de un proceso de desdolomitización. En este caso, el difractograma es muy pobre dada la escasa cantidad de material obtenido. Los picos de cuarzo (Q) corresponden al material que constituye parte de la roca dolomítica y la inflexión del fondo, entre 20 y 30° 2θ, se debe a la influencia del porta-muestra de vidrio.



**Figura 1.** DRX del núcleo de una partícula de dolomía extraída de un prisma de hormigón IRAM 1700 (edad: 8 años)



**Figura 2.** DRX del borde de reacción de una partícula de dolomía, extraída de un prisma de hormigón IRAM 1700 (edad: 8 años)

## Discusión

Si bien la roca analizada es de composición dolomítica, desde el punto de vista petrográfico, su textura no posee las características típicas de las rocas potencialmente reactivas frente a la RAC, en especial, en lo que respecta al tamaño de sus cristales. En efecto, el tamaño promedio de los granos de dolomita en esta roca, en general, resulta muy superior a 50  $\mu\text{m}$ , siendo considerado este factor esencial en la respuesta del agregado frente a la RAC (1, 24).

Desde el punto de vista de la RAS, en cambio, la presencia de cuarzo micro y criptocristalino, en cantidades superiores al 5 % (29), aconsejaría la realización de ensayos físicos complementarios (IRAM 1674 e IRAM 1700), a fin de confirmar la reactividad del agregado.

En resumen, desde el punto de vista petrográfico, es posible presumir que el agregado poseerá un comportamiento inocuo ante la RAC, debiendo confirmar su reactividad alcalina frente a la RAS.

Los bajísimos resultados de expansión obtenidos, tanto en el método NBRI (IRAM 1674) como en el método del prisma de hormigón (IRAM 1700), descartan la posibilidad de ambas reacciones.

Asimismo, el examen de la microestructura de los prismas de hormigón utilizados en el método IRAM 1700, al finalizar el ensayo (1 año), no reveló la existencia de signos de deterioro. Las ZIF se muestran compactas, sin solución de continuidad, en tanto que no se observan fisuras ni manifestaciones de reacción asociadas con la RAS o RAC (geles, bordes de reacción, etc.).

Si bien, a largo plazo, los estudios de DRX permitieron confirmar que los bordes de reacción en el agregado grueso son el resultado del proceso de desdolomitización de la dolomita, es claro que este tipo de manifestaciones no presenta características deletéreas para el material, si se tienen en cuenta la ausencia de fisuras y el bajo nivel de las expansiones registradas en el hormigón.

Lo expuesto, constituye un ejemplo más acerca de la importancia de distinguir, claramente, los términos “reacción” y “expansión”. En este caso, como en otros tantos que cita la bibliografía (23, 27, 28), es claro que la reacción de desdolomitización observada en el agregado dolomítico posee características benéficas, al mejorar la calidad de las zonas de interfase. Independientemente de lo señalado, es importante recordar que estos procesos, y sus productos, fueron identificados en hormigones de alto contenido de álcalis (5,25 kg de  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{equiv}}/\text{m}^3$ ), almacenados, a lo largo de toda la experiencia, en condiciones de alta humedad y elevada temperatura (38°C), por lo cual, es altamente improbable que los mismos puedan presentarse a lo largo de la vida útil de la estructura (30).

## Conclusiones

A partir del análisis de los resultados obtenidos en estos estudios, es posible realizar las siguientes consideraciones:

- ✓ Desde el punto de vista petrográfico, la dolomía evaluada debe considerarse inocua frente a la RAC, por cuanto no posee la textura típica de los agregados carbonáticos reactivos. A pesar de tratarse de una roca constituida, esencialmente, por dolomita, el tamaño promedio de sus cristales ( $> 50 \mu\text{m}$ ) parece ser el factor determinante en su respuesta, lo cual, es coincidente con la experiencia internacional. El carácter inocuo de este agregado, frente a la RAC, es confirmado por los resultados de expansión obtenidos en el método del prisma de hormigón (IRAM 1700).
- ✓ A pesar de la presencia de cuarzo micro y criptocristalino, en cantidades superiores al 5 %, el agregado puede considerarse inocuo frente a la RAS. En efecto, los resultados de expansión obtenidos, tanto en morteros (IRAM 1674) como en hormigón (IRAM 1700), arrojaron valores muy inferiores a los límites máximos recomendados.
- ✓ El examen de la microestructura del hormigón, a largo plazo (1 año), no reveló la presencia de signos de reacción deletérea de ningún tipo (fisuras, geles, etc.). A edades mayores ( $> 4$  años), si bien se observaron bordes de reacción en el agregado grueso dolomítico, atribuidos a la reacción de desdolomitización, estos no ejercen una influencia negativa en el desempeño del hormigón.

## Bibliografía

- 1) ACI Committee 221, "State-of-the-art-report on alkali-aggregate reactivity", Manual of Concrete Practice, ACI 221.1R-98, 2010, 31 pp.
- 2) Sims, I., and Nixon, P., "RILEM Recommended test method AAR-1: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method", Materials and Structures, Vol. 36, August-September 2003, pp. 480-496
- 3) Giovambattista, A., Batic, O. R., Traversa, L. P., "Durabilidad de hormigones de cemento portland", Revista Hormigón, N° 5, Julio-Diciembre de 1981, pp. 5-20
- 4) Batic, O. R., Sota, J. D., Serrani, H. R., "Estudio de las posibles causas de deterioro del hormigón de la pista de aterrizaje y zona de servicio del aeropuerto de Camba Punta, Corrientes", Memorias, 6ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), T. II, Bahía Blanca (Argentina), 1984, pp. 249-270
- 5) Giovambattista, A. "Research and repair of a concrete building affected by alkali-silica reaction", Proc., 12<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Beijing (China), Tang M. and Deng M. Eds., 2004, pp. 1229-1234
- 6) Milanese, C. A., Souza, E., Marfil, S., Maiza, P. J., "Estudio de las manifestaciones de RAS detectadas en el pavimento de hormigón de la ruta nacional N° 127 y su relación con el deterioro de la obra", Memorias, 17ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), Córdoba (Argentina), 2008, pp. 273-280
- 7) Fava, A. S. C., Manuele, R., Colina, J. F., y Cortelezzi, C., "Estudios y experiencias realizadas en el LEMIT sobre la reacción que se produce entre el cemento y los agregados en el hormigón de cemento portland", Revista LEMIT, Serie II, 1961, N° 85
- 8) Batic, O. R., y Sota, J. D., "Reacciones deletéreas internas", Durabilidad del Hormigón Estructural, E. F. Irassar Ed., Cap. IV, 2001, pp. 157-216
- 9) RAC en EEUU, Canadá y China
- 10) Batic, O. R., y Milanese, C. A., "Experiencias sobre la reacción álcali-carbonato con rocas dolomíticas", Revista Hormigón N° 19, AATH, Enero-Junio, 1991, pp. 15-29.
- 11) Batic, O. R., Cortelezzi, C., Maiza, P., Marfil, S., Milanese, C. A., y Pavlicevic, R., "Reacción deletérea de algunas rocas dolomíticas en hormigones", Memorias, 10ª Reunión Técnica de la AATH "Ing. José F. García Balado", Bs. As. (Argentina), T. II, 1991, pp. 95-113.
- 12) Milanese, C. A., and Batic, O. R., "Alkali reactivity of dolomitic rocks from Argentina", Cement and Concrete Research, Vol. 24, N° 6, 1994, pp. 1073-1084

- 13) Walker, H. N., "Chemical reactions of carbonate aggregates in cement paste", ASTM STP 169-B, Chapter 41, 1978, pp. 722-743
- 14) Swenson, E. G., and Guillot, J. E. "Alkali-carbonate rock reaction", Washington Symposium Highway Research Record, HRTB, Rec. N° 45, 1964, pp. 21-40
- 15) Milanesi, C. A., y Batic, O. R., "Comportamiento de algunas adiciones minerales activas frente a la reacción álcali-carbonato", Revista Hormigón N° 23, Enero-Junio de 1993, pp. 41-51
- 16) Canadian Standards Association, "Standard practice to identify degree of alkali-reactivity of aggregates and to identify measures to avoid deleterious expansion in concrete", A23.2-27 A, 2004
- 17) Thomas, M. D. A., Fournier, B., and Folliard, K. J., "Report on determining the reactivity of concrete aggregates and selecting appropriate measures for preventing deleterious expansion in new concrete construction", Federal Highway Administration, US Department of Transportation, FHWA-HIF-09-001, 2008, 20 pp.
- 18) Hadley, D. W., "Alkali reactivity of dolomitic carbonate rocks", Washington Symposium Highway Research Record, HRTB, Rec. N° 45, 1964, pp. 1-20
- 19) Soles, J. A., Malhotra, V. M., and Chen, H., "CANMET investigations of supplementary cementing materials for reducing alkali-aggregate reactions: Part I-Granulates/pelletized blast furnace slag", ACI SP 114, Vol. 2, 1989, pp. 1637-1656
- 20) Tang, M. S., Liu, Z., and Han, S. F., "Mechanism of alkali carbonate reaction", Proc., 7<sup>th</sup> Int. Conf. on AAR, Ottawa (Canada), 1986, pp. 275-279
- 21) Mather, B., "New concern over alkali aggregate reaction", NSGA circular N° 122, NRMCA Publication 149, 1975, 20 pp.
- 22) Milanesi, C. A., y Batic, O. R., "Comportamiento mecánico de hormigones afectados por la reacción álcali-agregado", Memorias, Congreso Internacional de Ingeniería Estructural y Tecnología del Hormigón Cba. 93', Editores AATH, Córdoba (Argentina), T. I, 1993, pp. 27-42
- 23) Batic, O. R., Milanesi, C. A., and Sota, J. D., "Effects of alkali-silica and alkali-carbonate rock reaction on aggregate-mortar bond", Proc., 11<sup>th</sup> International Congress on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, M. A. Bérubé et al. Eds., Québec (Canada), 2000, pp. 1-10
- 24) Tang, M., and Deng, M., "Progress on the studies of alkali-carbonate reaction", Proc., 12<sup>th</sup> International Conference of Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Tang M. and Deng M. Eds., Beijing (China), 2004, pp. 51-59
- 25) Poiré, D. G., Canalicchio, J. M., Barquero, M. G., Gómez Peral, L., Canessa, N. D., Milanesi, C. A., Serranhinio, M. A., Bauer, H., y Coutiño, J., "Proyecto minero dolomía el polvorín (Tandilla, Argentina): Estudio de prefactibilidad de uso de la roca como agregado para hormigón", Actas, VIII Congreso de Geología Económica, Buenos Aires (Argentina), 2005, pp. 97-104
- 26) Alexander, M, and Mindess, S., Aggregates in Concrete, Modern Concrete Technology Series, A. Bentur and S. Mindess Editors, 2005
- 27) Violini, D., Milanesi, C. A., Pappalardi, M., Zerbino, R., y Giaccio, G., "Influencia del tipo de agregado grueso en las propiedades de hormigones para la construcción de pavimentos", Memorias, 18<sup>a</sup> Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), Mar del Plata (Argentina), 2010
- 28) Violini, D., Milanesi, C. A., Pappalardi, M., Zerbino, R., y Giaccio, G., "Aprovechamiento de agregados de origen dolomítico en hormigones", Memorias, 18<sup>a</sup> Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), Mar del Plata (Argentina), 2010
- 29) IRAM, "Agregado grueso para hormigón de cemento", IRAM 1531:2006, 20 pp.
- 30) Fournier, B., Bérubé, M. A., and Frenette, J., "Laboratory investigations for evaluating potential alkali-reactivity of aggregates and selecting preventive measures against alkali-aggregate reaction (AAR) – What do they really mean?, Proc., 11<sup>th</sup> International Congress on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, M. A. Bérubé et al. Eds., Québec (Canada), 2000, pp. 287-296