

REACCIÓN DELETEREA DE ALGUNAS ROCAS DOLOMITICAS EN HORMIGONES

Oscar R. Batic (1), Cesar Cortelezzi (1), Pedro J. Maiza (2),  
Marfil S. (3), Carlos A. Milanese (4), Roberto Pavlicevic (5)

Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario  
para la Investigación Tecnológica (LEMIT)  
Calle 52 e/ 121 y 122  
1900 - La Plata

RESUMEN:

El objeto del presente trabajo es estudiar las reacciones que se producen entre algunas rocas dolomíticas y los compuestos alcalinos presentes en la solución de poros del hormigón, conocida como reacción álcali-carbonato (RAC).-

Para realizar este estudio se seleccionaron, entre diversas procedencias, tres muestras representativas de distintas localidades del país, a saber: Alta Gracia (Pcia. de Córdoba), Olavarría (Pcia. de Bs. As.) y Valcheta (Pcia. de Río Negro).-

Las mismas fueron caracterizadas petrográficamente mediante microscopía óptica, análisis químicos y difracción de rayos X (DRX). Además, se implementaron distintos ensayos de laboratorio que abarcan, desde los clásicos normalizados (ASTM-C-586, ASTM-C-227, CSA-A23.2-14A, etc.) hasta los métodos acelerados recientemente propuestos en la bibliografía (método de Larbi-Hudec, NBR1, etc.).-

En una segunda etapa se estudiaron las distintas manifestaciones de las reacciones producidas en las muestras de estudio mediante microscopía óptica, DRX y SEM.-

A partir de los resultados obtenidos es posible advertir los distintos comportamientos observados según la procedencia de las muestras analizadas. Algunas tuvieron manifestaciones deletéreas con fenómenos de reacción asociados (expansiones, fisuración, desdolomitización, presencia de ceolitas, etc.).-

Por último, se realizan algunas consideraciones preliminares de carácter general acerca de los posibles mecanismos de reacción involucrados.-

- 
- (1) Investigador LEMIT-CIC  
(2) Investigador CONICET-UNS  
(3) Becaria CIC-UNS  
(4) Becario LEMIT-CONICOR  
(5) Prof. de apoyo LEMIT-CONICET

## 1.- Introducción

Los problemas de durabilidad que afectan las estructuras de hormigón vinculados a reacciones de tipo álcali-agregado han sido motivo de preocupación constante en todo el mundo por parte de los tecnólogos del hormigón.

A pesar de que el nivel de los conocimientos en el tema y los métodos de análisis disponibles evolucionan día a día, la complejidad de los fenómenos fisico-químicos involucrados exigen nuevas investigaciones y una profundización en los estudios.

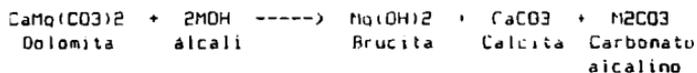
La importante variedad de especies mineralógicas participes en los procesos de reacción, las distintas fuentes de aporte de álcalis a la solución de poros del hormigón y los fenómenos de difusión iónica presentes en ella, son algunos de los aspectos que contribuyen a aquella complejidad y avalan la precedente conclusión (1).-

Un caso de particular interés en este sentido lo constituyen los agregados de naturaleza carbonática. Estos, en ocasiones, exigen determinaciones y métodos de evaluación de carácter especial (2), ya que bajo determinadas condiciones de humedad y temperatura pueden participar en forma activa con los álcalis contenidos en el hormigón en la verificación de reacciones deletéreas de tipo álcali-silice (RAS) y/o álcali-carbonato (RAC) (3,4,5):-

En efecto, dentro de las rocas carbonatadas pueden estar presentes algunas variedades de silice reactiva (ópalo, tridimita, cristobalita, etc.) en forma de nódulos, venillas o diseminada intersticialmente, que en porcentajes adecuados pueden provocar importantes expansiones debido a la RAS (6,7). No obstante, aun en ausencia de las citadas inclusiones silíceas de carácter labil, estos agregados además, pueden resultar todavía, peligrosamente expansivos como consecuencia de la RAC (6,7,8).-

Tanto el sintoma básico de esta última reacción (RAC) como los aspectos visibles de las estructuras afectadas por ella, son muy similares a los que se observan en las obras en que se ha producido la RAS (6,7). Sin embargo, las evidencias experimentales recogidas hasta el momento señalan que los mecanismos de expansión involucrados en la RAC, aun no del todo comprendidos, difieren considerablemente de los observados en la RAS (ausencia de geles, carencia de pessimum, incremento en las expansiones con el aumento del tamaño máximo, ineficacia de los inhibidores puzolánicos reconocidos, etc.) (8).-

Diversas hipótesis han sido expuestas para explicar el mecanismo de la RAC. La mayoría de los investigadores coincide en reconocer a la desdolitización como factor fundamental de las expansiones observadas (6,8,9). Esta reacción química de ataque modifica la composición mineralógica original de la roca produciendo el reemplazo de la dolomita por dos fases sólidas: calcita y brucita. En forma muy simplificada, puede ser escrita como sigue:



donde "M" representa al catión alcalino (Na, K o Li)

Algunos autores intentan vincular la desdolomitización a fenómenos de tipo osmótico obrando, en este caso, la arcilla intergranular como membrana semipermeable (6). Otros, en cambio, prefieren ubicarla como responsable del crecimiento cristalino de la brucita y la consecuente generación de presiones de cristalización (9). No obstante, experiencias recientes sugieren que la desdolomitización aparece como un efecto secundario más que como la causa principal del mencionado mecanismo expansivo (10).-

En trabajos anteriores (11,12) se dieron a conocer los resultados de los ensayos físicos obtenidos hasta la edad de 6 meses y las primeras observaciones sobre las distintas manifestaciones de reacción mediante microscopía óptica. En esta oportunidad se presenta un avance de los mencionados estudios con resultados obtenidos hasta los 12 meses de edad. Se incluye además, el análisis de los cambios mineralógicos operados (desdolomitización), las observaciones de las distintas manifestaciones de reacción producidas (alteración de interfaces, anillos de reacción, etc.) y algunas consideraciones de carácter general acerca de los posibles mecanismos de reacción involucrados.-

## 2.- Materiales Empleados.

Para llevar a cabo estas experiencias, se emplearon los siguientes materiales:

2.1.- **Cemento portland.** Se utilizó un cemento portland normal (tipo 1 según norma ASTM-C-150), de alto contenido de álcalis totales: 1.14 % (0.61 % Na<sub>2</sub>O, 0.80 % K<sub>2</sub>O).-

2.2.- **Agregado grueso.** La descripción y clasificación petrográfica de las muestras utilizadas se realizó mediante microscopía óptica en base a la observación de cortes delgados complementada, en este caso, mediante análisis químicos y difracción de rayos X (DRX).

**Muestra 1.** Procedente de la zona de Olavarria, Pcia. de Bs.As.

Se trata de una roca compacta, sin alteración, de tamaño de grano fino (100 a 200 μm), compuesta esencialmente por dolomita, algo de calcita y pequeña cantidad de cuarzo en forma intersticial. La cantidad de residuo insoluble oscila entre el 3 y el 23%.

Clasificación petrográfica: Dolomia esparítica.-

**Muestra 4.** Procedente de la zona de Valchetta, Pcia. de Rio Negro. Se trata de una roca porosa, sin alteración, con tamaño de grano muy fino (10 a 30 μm), constituida por dolomita, casi en forma exclusiva, dentro del límite de resolución de detección de los rayos X (no aparecen reflexiones de calcita).-

El análisis difractométrico de su residuo insoluble (aproximadamente un 10 %) permitió identificar, en forma mayoritaria, la presencia de arcillas del grupo de la montmorillonita e illita, y un resto conformado por cuarzo, telúspatos y fragmentos líticos.-

Clasificación petrográfica: Dolomia subesparítica.-

**Muestra 5.** Procedente de la zona de Alta Gracia, Pcia. de Córdoba. Roca de textura granoblástica, con tamaños de grano mediano a grueso (1.5 a 4.5 mm), constituida aproximadamente por un 30 % de dolomita, el resto calcita y un muy bajo porcentaje de residuo insoluble ( $\approx 3\%$ ).

Clasificación petrográfica: Caliza dolomítica macroesparítica.

Como podrá apreciarse las muestras estudiadas corresponden a dolomías sedimentarias, con excepción de la roca de Córdoba que se trata de una caliza cristalina (metamórfica).

2.3.- Agregado fino. Se utilizó como base una arena silicea, de características inocuas en lo que a reactividad alcalina se refiere, denominada comúnmente "oriental".

### 3.- Ensayos físicos de caracterización.

#### 3.1.- Método del Cilindro de Roca - ASTM-C-586-86.

La técnica de ensayo es muy sencilla y consiste en medir los cambios de longitud que se producen en cilindros circulares rectos de 75 mm de longitud y 19 mm de diámetro, extraídos de la roca en estudio, al ser sumergidos en solución de hidróxido de sodio 1 normal (1N NaOH) a temperatura ambiente (11). La norma considera que las expansiones que exceden del 0.10 % son indicativas de reacciones químicas, aunque no establece límite de tiempo alguno para la consecución de tal cifra.

En la figura 1 se representan los resultados de expansión obtenidos hasta la edad de 12 meses.

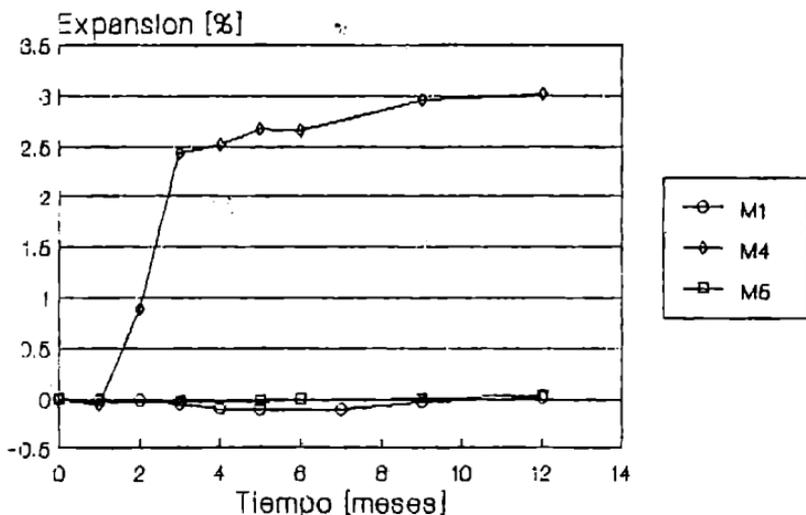


Figura 1. Resultados de expansión obtenidos según el método del cilindro de roca (ASTM-C-586-86).

A partir del análisis de la misma es posible advertir dos comportamientos bien diferenciados: uno de características expansivas, observado en los testigos de la muestra M4, y otro, detallado en la figura 2, en el que se verifica una contracción variable a lo largo de casi todo el periodo de observación (muestras M1 y M5), con características similares a las rocas de expansión tardía ("late expansion rocks"), descritas oportunamente por Dolar-Mantuani (13).-

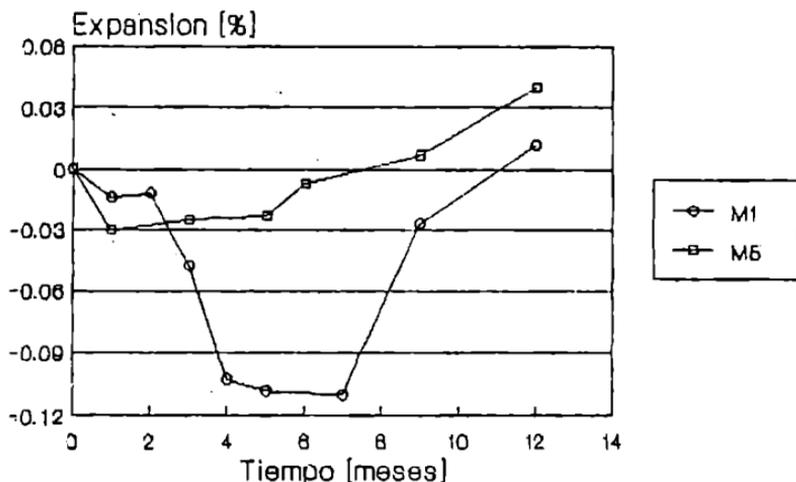


Figura 2. Resultados de expansión obtenidos según el método del cilindro de roca (detalle de la figura 1).

En primer lugar, es interesante hacer notar el nivel de las expansiones alcanzadas por los especímenes de estudio, que superan el 0.5% de expansión a los 4 meses de ensayo, llevando en algunos casos a valores del 2.5%.-

Otro aspecto interesante a destacar, es la forma que adopta la curva "expansión vs. tiempo" representada en la figura 1, en especial la existencia de un periodo "dormant", es decir, una fase de inducción o inicial en la que las expansiones permanecen ausentes y sólo se verifican pequeñas contracciones.-

A pesar de la presencia de numerosas fisuras y las importantes expansiones registradas en los testigos, no se constató en la inspección visual presencia alguna de manchas, reles, decoloraciones o productos de reacción. En el caso de los testigos que presentaron contracciones a lo largo de todo el periodo de análisis (M1 y M5), la inspección visual efectuada en forma concomitante a cada una de las lecturas, no reveló manifestación evidente de reacción química alguna.-

### 3.2.- Método de la barra de mortero. Norma ASTM-C-227-B7.

La metodología empleada por esta técnica de ensayo es sencilla y ha sido suficientemente descrita en numerosos trabajos relacionados con la RAS por lo que no se dan mayores detalles al respecto.-

En la figura 3 se representan los resultados de expansión obtenidos por este método. En ella puede apreciarse nuevamente, el comportamiento diferenciado de la muestra M4 en relación a las demás. Mientras las muestras M1 y M5 apenas logran superar el 0.020 % de expansión lineal a los 12 meses de ensayo, los valores correspondientes a la muestra M4, aunque no excesivamente importantes, logran superar el 0.050 % (límite de expansión crítico actualmente aconsejado por algunos investigadores y organizaciones normativas de prestigio mundial en la evaluación de la susceptibilidad alcalina de los agregados silíceos) (14). Hasta el momento, la muestra M4 demuestra haber estabilizado sus movimientos.-

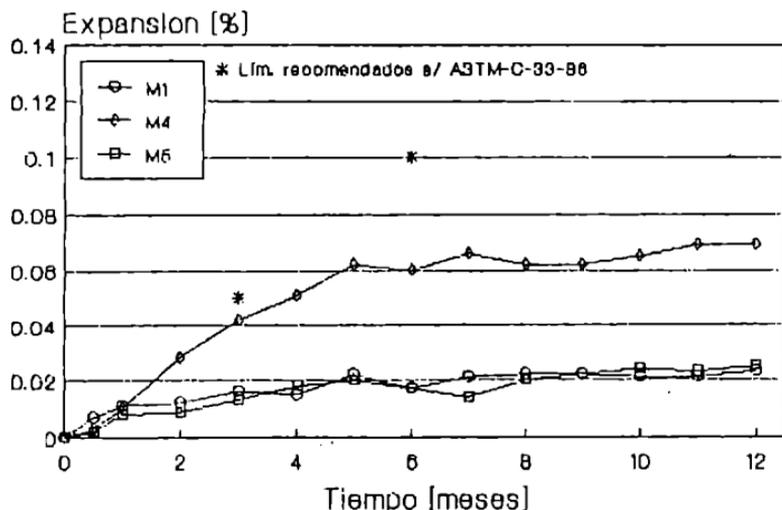


Figura 3. Resultados de expansión obtenidos según el método de la barra de mortero (ASTM-C-227-B7).

De todos modos, debemos tener presente una vez más, que los valores de expansión obtenidos por este método de ensayo sobre calizas dolomíticas de reconocida reactividad deletérea son del mismo orden que los consignados en nuestras experiencias, precisamente en el caso de la muestra M4 (15).-

Hasta la edad de ensayo informada (12 meses), la inspección visual de las barras de mortero no ha evidenciado en forma alguna la presencia de signos de reacción (exudación en forma de geles, manchas, decoloraciones, etc.) ni fisuras que pudieran ser características de la reacción.-

### 3.3.- Método del prisma de hormigón. Norma CSA-A23.2-14A-77.

Este método de ensayo ha sido considerado en numerosas ocasiones como el método más confiable para determinar la posibilidad de que se produzca la RAC en el hormigón (4,13,17), a pesar de algunas de algunas reservas al respecto (9,13).-

Consiste en la determinación de las expansiones de prismas de hormigón de 7.5x10x40 cm, estacionados en cámara húmeda (23°C, HR > 95%), utilizando el agregado grueso que se desea estudiar (tam. máx. 19 mm) y un cemento portland de alto álcalis (1 % de Na<sub>2</sub>O eq.).-

Diferentes límites de expansión han sido propuestos, siendo todos, hasta el presente, objeto de discusión y revisión continua (7,14). Así, la norma CSA-A23.2-14A-M77 (cemento con 1.0 % de álcalis total), establece que expansiones mayores a 0.030 % a cualquier edad, son indicativas de reacciones deletéreas potenciales (16). La norma ASTM-C-1105-89, en su apéndice de recomendaciones X1.2, propone los límites de 0.015, 0.025 y 0.030 % a las edades de 3, 6 y 12 meses de ensayo, respectivamente (17).-

En la figura 4 se representan los resultados de expansión obtenidos hasta la edad de 12 meses. Al comparar estos valores de expansión con aquellos consignados en la normativa se advierte, una vez más, la inestabilidad volumétrica de la muestra M4 con relación a las demás y la superación del límite crítico a 12 meses, consignado precedentemente.-

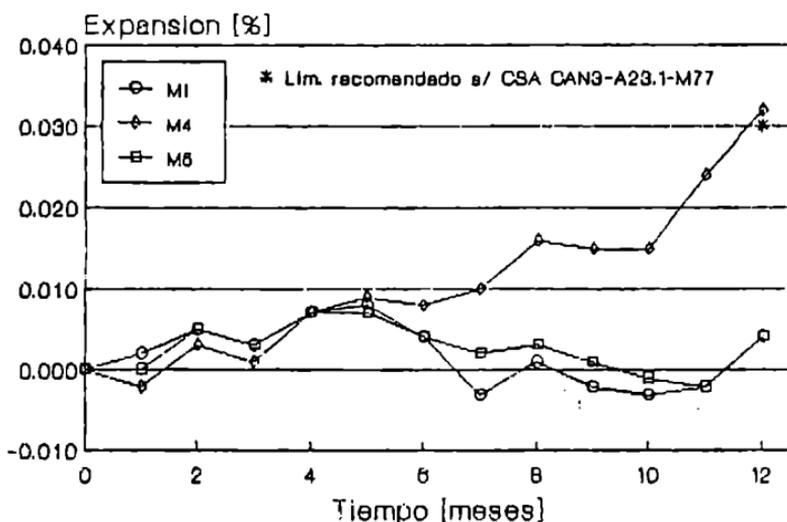


Figura 4. Resultados de expansión obtenidos según el método del prisma de hormigón (CSA-A23.2-14A-77).

Según indica la bibliografía, en general la respuesta de los agregados carbonáticos reactivos frente a la RAC es prácticamente inmediata. En este sentido, la muestra M4 se aparta de lo mencionado anteriormente. Sin embargo, existen antecedentes de agregados con velocidades de reacción mucho más lentas y de respuesta diferida ("delayed expansive aggregates"), e incluso de obras que han sido deterioradas por este motivo (7).-

Hasta el momento, no se han observado en los prismas de ensayo fisuras ni signos de reacción evidente.-

### 3.4.- Ensayo acelerado "Larbi-Hudec".

Este ensayo consiste en la determinación de las expansiones de testigos prismáticos de hormigón de 25x25x70 mm, elaborados con el agregado grueso que se desea estudiar (tam. máx. 10 mm), al ser expuestos a diferentes ambientes alcalinos (sol. sat. de ClNa o IN de NaOH), a 80°C de temperatura, en forma similar al método NBRI (2).-

En las figuras 5 y 6 se consignan los resultados de expansión lineal obtenidos hasta los 28 días de inmersión alcalina, incluyendo además los límites de expansión máxima propuestos en la bibliografía para la evaluación de la reactividad alcalina potencial de los agregados (RAS y RAC) (2,18,19).-

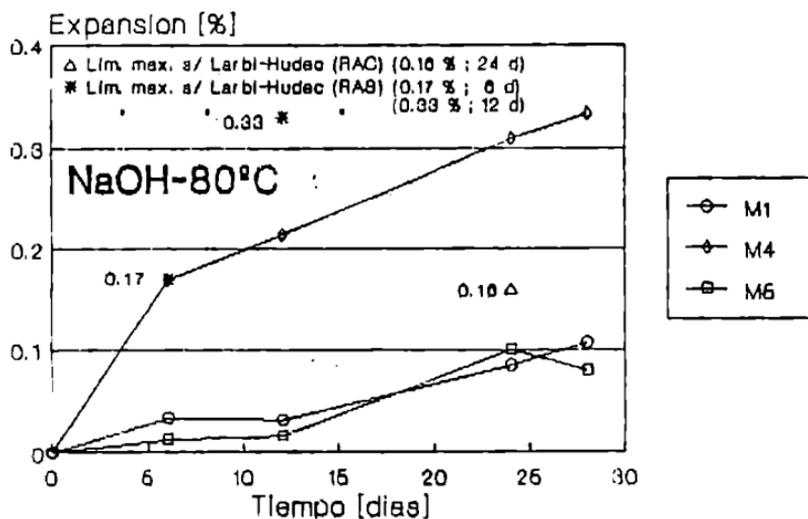


Figura 5. Resultados de expansión obtenidos según el método de ensayo acelerado de Larbi-Hudec (NaOH a 80°C).

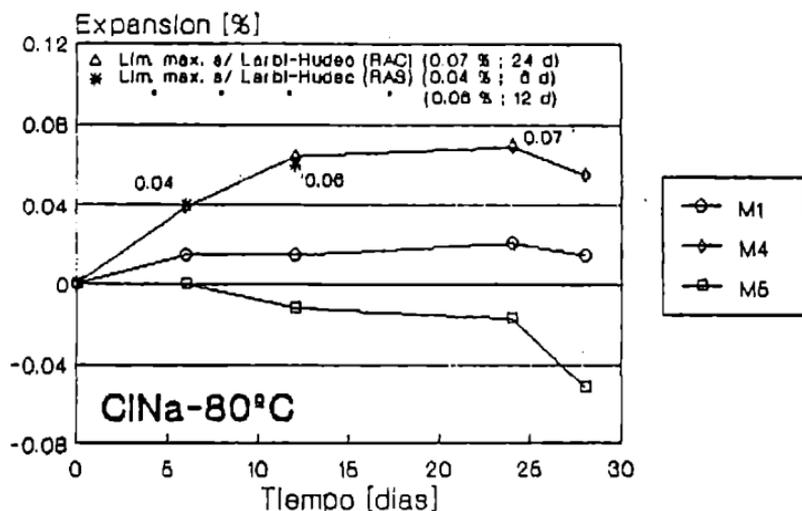


Figura 6. Resultados de expansión obtenidos según el método de ensayo acelerado de Larbi-Hudec (CINa a 80° C).

Del análisis de estas figuras es posible advertir las diferentes respuestas observadas por las distintas petrografías investigadas, en función de la solución de ataque empleada. En efecto, mientras que en solución de NaOH a 80° C, durante todo el período de inmersión, todas las muestras sin excepción expanden sensiblemente, en solución saturada de CINa, la muestra M5 alcanza a contraer en forma leve.-

Sin embargo, independientemente del tratamiento utilizado y a pesar de hallarnos frente a una situación de borde en el caso de inmersión salina (figura 6), solo la muestra M4 puede ser considerada potencialmente reactiva ya que logra superar los límites propuestos.-

Como fue indicado en un trabajo anterior (11), en estas experiencias se estudió además, el efecto de la temperatura del tratamiento sobre el nivel de las expansiones producidas, obteniendo resultados acordes a los consignados por los mismos autores del método (19).-

De estos estudios, la tendencia general muestra un incremento en las expansiones con el aumento de la temperatura, con situaciones algo singulares, como el caso de la muestra M5 (figura 7), en el que se invierte el sentido de los movimientos, es decir, las expansiones recién aparecen a los 80° C, mientras que a los 22 y 38° C se registran únicamente contracciones; y el caso de la muestra M4 en solución de CINa saturada (figura 8), en el que se presenta un efecto "óptimum" a los 38° C.-

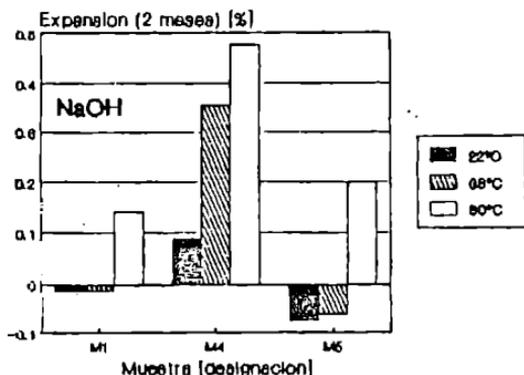


Figura 7. Influencia de la temperatura del tratamiento sobre el nivel de las expansiones producidas en sol. de NaOH 1N

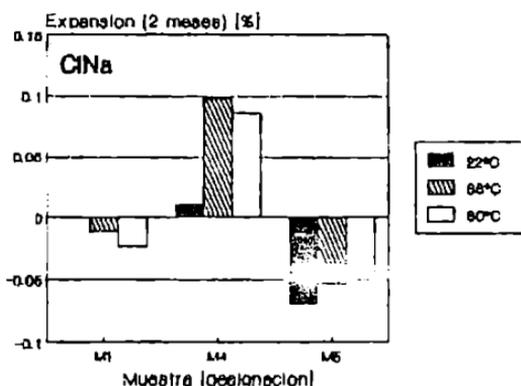


Figura 8. Influencia de la temperatura del tratamiento sobre el nivel de las expansiones producidas en sol. de CINa sat.

Por último, la inspección visual realizada en los distintos testigos de ensayo a lo largo de todo el periodo de estudio permitió identificar, únicamente en el caso de la muestra M4, fundamentalmente dos signos evidentes de reacción: fisuras (en general afectando toda la estructura del testigo, es decir, matriz, interfaces y agregados) y bordes de alteración (anillos de distinta coloración). Estas dos diferentes manifestaciones se encontraron presentes tanto en los testigos tratados con solución de NaOH, como en aquellos tratados con solución saturada de CINa, con la única diferencia de que aquellas manifestaciones fueron más intensas para el primero de los tratamientos mencionados. No se observaron geles ni productos de reacción semejantes.

#### 4.- Estudio de las distintas manifestaciones de reacción.

##### 4.1.- Difractometría de rayos X.

Con la finalidad de estudiar en mayor detalle los cambios mineralógicos operados durante los diversos procesos de reacción intervinientes, se trabajó mediante difractometría de rayos X (DRX), tanto sobre cilindros de roca (ASTM-C-586) como sobre clastos de roca extraídos cuidadosamente de los testigos prismáticos de hormigón del ensayo de Larbi-Hudec, comparando en cada caso, los resultados obtenidos con aquellos correspondientes a muestras patrón, es decir, sin tratamiento alguno.-

##### 4.1.1.- Cilindros de roca.

A los fines comparativos, se trabajó sobre la base de tres difractogramas: el patrón, obtenido sobre la roca natural, y otros dos, sobre cilindros de roca con 8 meses de curado alcalino (NaOH 1N a 22°C). De estos últimos, uno se realizó sobre muestra total y otro sobre muestra tomada del borde del cilindro.-

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Muestra M1.** Las reflexiones identificadas corresponden a dolomita, calcita, illita y cuarzo. Prácticamente no se observan diferencias en los resultados obtenidos por DRX entre la roca natural y el cilindro tratado con NaOH, tanto sobre muestra total como de borde. En todos los casos, la relación calcita/dolomita correspondientes a los picos principales (C/D) se mantiene aproximadamente constante.

**Muestra M4.** Las reflexiones de la muestra sin tratar corresponden exclusivamente a dolomita. En las muestras tratadas con NaOH aparecen dos fases adicionales: calcita y brucita. Además, se observa un importante aumento de la relación C/D hacia la zona de borde (figura 9).

**Muestra M5.** A pesar de que los resultados obtenidos con esta muestra no son del todo consistentes, todo parece indicar que se trata de un caso similar al de la muestra M1, es decir, en las condiciones de ensayo dadas (NaOH a 22°C) no se detectan transformaciones mineralógicas importantes.-

##### 4.1.2.- Testigos prismáticos de hormigón (NaOH 1N-80°C)

Con la finalidad de determinar si se produce el fenómeno de desdolitización, se separaron en forma cuidadosa, los clastos de carbonato incluidos en los testigos de ensayo, tomándose en cada caso muestras del centro y borde de las barras.-

En esta ocasión, la muestra patrón estuvo representada por prismas de hormigón curados durante 28 días en cámara húmeda. Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Muestra M1.** La muestra tomada del interior prácticamente no presenta alteración alguna, produciendo un difractograma similar al de la muestra sin tratar. La del borde presenta un importante incremento en la relación C/D y la aparición de brucita (figura 10).-

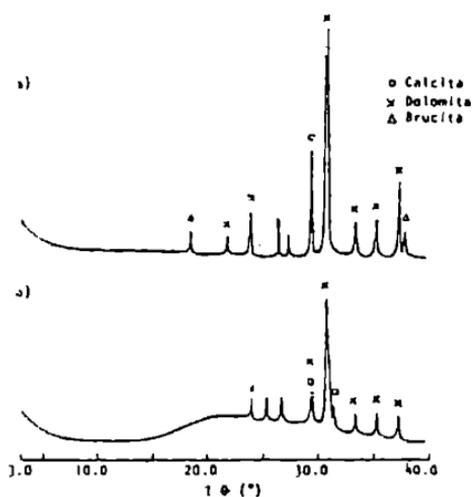


Figura 9. DRX obtenido sobre cilindro de roca en NaOH (M4)  
 a) muestra total  
 b) muestra de borde

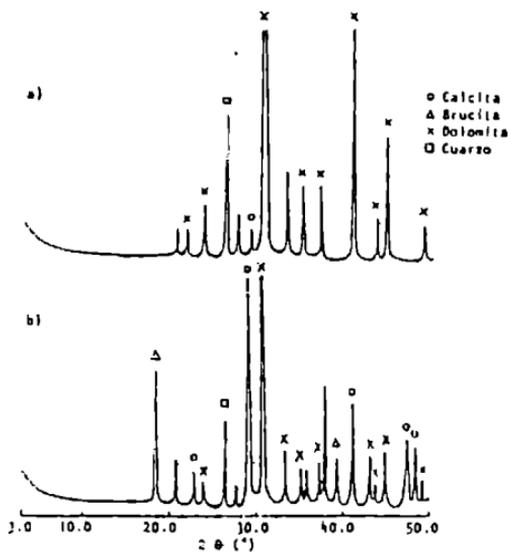


Figura 10. DRX obtenidos sobre clastos de roca tomados de sendos  
 testidos de hormigón (Muestra M1)  
 a) zona interna  
 b) zona de borde

Muestra M4. Mientras la muestra obtenida de la zona interna del testigo presenta una relación C/D aproximadamente igual a 2, la zona externa se transforma completamente en calcita y brucita (figura 11).-

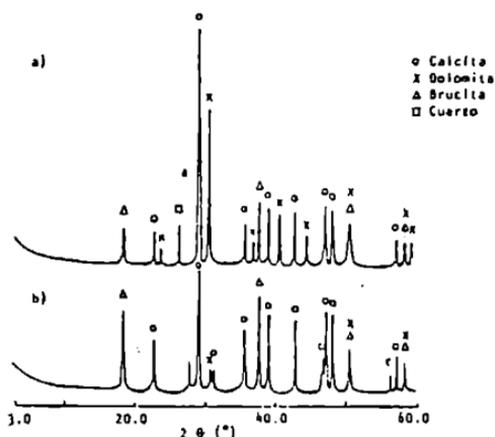


Figura 11. DRX obtenidos sobre clastos de roca tomados de sendos testigos de hormigón (Muestra M4)  
 a) zona interna  
 b) zona de borde

Muestra M5. El difractograma correspondiente a la zona interna mostró características similares al de la roca sin tratar. La relación C/D experimentó un ligero incremento hacia la zona de borde (de 0.15 a 0.24). No obstante, no fue posible detectar las reflexiones correspondientes a la brucita (figura 12), lo que si se observó cuando la temperatura de ensayo alcanzó los 389°C.-

#### 4.2.- Estudios con microscopio petrográfico.

Se describen a continuación, los estudios realizados mediante microscopio petrográfico sobre cortes delgados obtenidos de los cilindros de roca y testigos de hormigón precedentemente descritos en 4.1. Las observaciones realizadas fueron las siguientes:

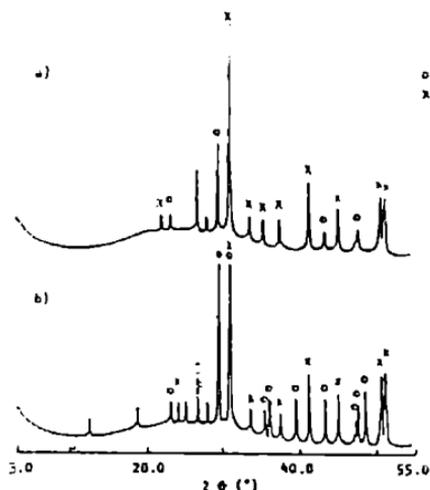


Figura 12. DRX obtenidos sobre clastos de roca tomados de senos testigos de hormigón (Muestra M5)  
a) zona interna  
b) zona de borde

#### 4.2.1.- Cilindros de roca.

Se confeccionaron dos cortes delgados de cada grupo (roca sin tratar y cilindros de roca curados en ambiente alcalino). Un corte de cada uno de ellos fue teñido por el método de la alizarina con el propósito de comparar la cantidad de calcita y dolomita presentes en cada caso.-

**Muestra M1.** No se observan diferencias entre los cortes delgados de roca sin tratar y los curados en NaOH; la cantidad de calcita presente es la misma en ambos casos.-

**Muestra M4.** Mientras la roca natural teñida corresponde a dolomita, la tratada con solución de NaOH IN corresponde a calcita.-

**Muestra M5.** En la muestra natural se observa algo de calcita entre los cristales de dolomita. En la tratada con NaOH, en cambio, se observa un mayor porcentaje de calcita, la que aparece, además, en fisuras y dentro de los clastos.-

#### 4.2.2.- Testigos prismáticos de hormigón.

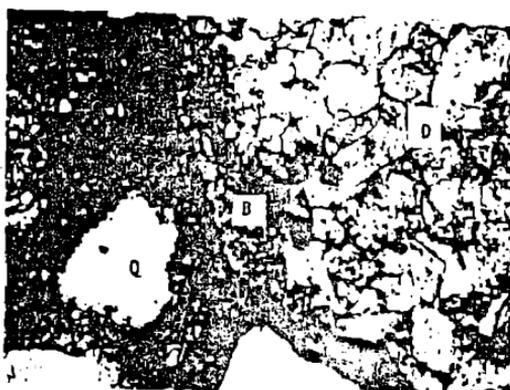
**Muestra M1.** Los clastos están constituidos por cristales de dolomita con pequeñas cantidades de cuarzo y calcita. En la fotomicrografía 1 ( $\times 30$ ) se observa el aspecto que presenta el testigo patrón (curado en cámara húmeda), donde los contactos entre clasto y pasta resultan nitidos y no se observa microfisuramiento.-



D Dolomita  
Q Cuarzo

Fotomicrografía 1 ( $\times 30$ ).

La microfotografía 2 ( $\times 125$ ) corresponde a un clasto de hormigón curado en NaOH donde se observa claramente un borde de reacción, además, algunos clastos se encuentran fisurados.-



D Dolomita  
B Borde de reacción  
Q Cuarzo

Fotomicrografía 2 ( $\times 125$ ).

**Muestra M4.** La roca tiene grano extremadamente fino. En ella se observa escaso cuarzo. Los clastos se encuentran muy fisurados. También existen fisuras en los contactos entre agregado y pasta y en la pasta misma. Se observan además, bordes de reacción en los clastos (fotomicrografías 3 y 4 ( $\times 30$ )).-



D Dolomita  
Q Cuarzo  
f fisura

Fotomicrografía 3 (x30).



D Dolomita  
Q Cuarzo  
B Borde de  
reacción  
f fisura

Fotomicrografía 4 (x30).

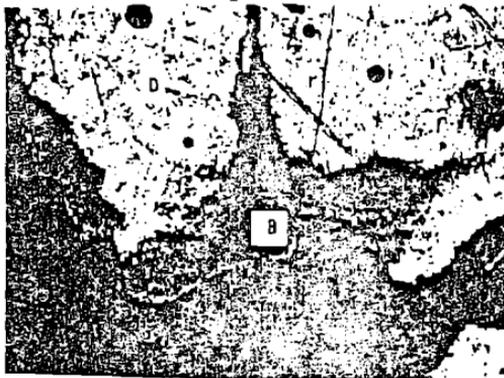
**Muestra M5.** El agregado está constituido por grandes cristales de calcita y dolomita. En el caso de los testigos curados en cámara húmeda no se observan bordes de reacción, los contactos de interfaz clasto-pasta son netos (fotomicrografía 5 (x30)).-

En las fotomicrografías 6 (x125) y 7 (x30) se observa claramente el caso de los testigos tratados con NaOH y la corrosión de bordes generada en los contactos pasta-agregado.-



D Dolomita  
Q Cuarzo

Fotomicrografia 5 (x30).



D Dolomita  
B Borde de  
reacción

Fotomicrografia 6 (x125).



D Dolomita  
B Borde de  
reacción

Fotomicrografia 7 (x30). 111

### 5.- Consideraciones finales.

Este trabajo se llevó a cabo con la finalidad de poner de manifiesto una reacción álcali-agregado diferente a la generada por la sílice amorfa y sus variedades deletéreas, denominada álcali-carbonato.-

En este estudio se obtuvieron las siguientes consideraciones:

1) En las tres rocas investigadas se observó que, durante el curso de los ensayos (ambientes fuertemente alcalinos), se ven afectadas por un proceso de desdolitización, siendo este proceso más evidente a altas temperaturas.-

2) A pesar del mencionado proceso de desdolitización, observado en todas las muestras ensayadas, los verdaderos síntomas de reacción deletérea (expansión, fisuración, formación de anillos y corrosión de bordes, etc.) solamente están presentes en la muestra M4.-

3) En los difractogramas de rayos X obtenidos a partir de la muestra M4, se observa, en todos los casos de ataque alcalino, un alto porcentaje de calcita y brucita, que marca indudablemente la elevada susceptibilidad de estos agregados. Esto, a nuestro criterio, se debe a su tamaño de grano muy fino (< 30  $\mu\text{m}$ ) y su alta porosidad.-

4) La muestra M5, a pesar de su bajo porcentaje de residuo insoluble, demuestra un claro y marcado proceso de desdolitización, sin consecuencias deletéreas.-

5) Es dable observar que además del proceso de desdolitización es necesaria la presencia de arcillas activas diseminadas en la matriz, y una estructura cristalina fina para que se produzca un fenómeno deletéreo del tipo RAC.-

6) Es necesario destacar que en los ensayos realizados sobre la muestra M4 se observaron además, algunas ceulitas, síntomas de reacción álcali-sílice. Ello es originado en la presencia de vestigios de sílice lábil y montmorillonita, ambos diseminados intersticialmente en toda la roca.-

### Referencias

1) Requard M., "Methods of examination", Proc., 6th. Int. Conf. on AAR in Concr., Copenhagen, 1983, pp. 275-289.

2) Batic O.R., Milanesi C.A., "Susceptibilidad de las rocas carbonáticas frente a los álcalis contenidos en el hormigón de cemento portland", Memorias, 3ra. Jorn. Tecn. del Hº "Inq. Adolfo P. Grisi", AATH-LEMIL, La Plata, 1991.

3) Poole A.B., "Alkali-carbonate reactions in concrete", Proc., 5th. Int. Conf. on AAR in Concr., Cape Town, 1981, S252/34, 0 pp.

4) Fournier B., Berubé M., Vézina D., "Investigation of the alkali-reactivity potential of limestone aggregates from the Quebec city area (Canada)", Proc., 7th. Int. Conf. on AAR in Concr., Canada, 1986.

Referencias (continuación)

- 5) Mather K., Buck A.D., Luke W.L., "Alkali-silica and alkali-carbonate reactivity of some aggregates from south Dakota, Kansas, and Missouri". Washington Symp. H.R.B., H.R.T.B., Rec. No. 45, 1964, pp. 72-109.
- 6) Hadley D.W., "Alkali reactivity of dolomitic carbonate rocks". Idem Ref. 5, pp. 1-20.
- 7) Rogers C.A., "Evaluation of the potential for expansion and cracking of concrete caused by the alkali-carbonate reaction", Cem., Concr. and Agg., CCAGDP, Vol. 8, N° 1, 1986, pp. 13-23.
- 8) Grattan-Bellew P., Guillot J., "Three decades of studying the alkali reactivity of Canadian aggregates", Concr. Durability, K. and B. Mather Int. Conf., ACI SP 100-69, Vol 2, 1987, pp. 1365-1384.
- 9) Tang M., Lu Y., Han S., "Kinetics of alkali-carbonate reaction". Proc., 8th. ICAAR in Concr., Kyoto, 1989, pp. 147-152.
- 10) Grattan-Bellew P. E., "Effect of confinement on deterioration of concrete made with alkali-carbonate reactive aggregate", Idem Ref.4, pp. 280-285.
- 11) Batic D.R., Milanese C.A., "Experiencias sobre la reacción álcali-carbonato con rocas dolomíticas", Revista Hormigón No. 19, AATH, Enero-Junio, 1991, pp. 15-29.
- 12) Batic D.R., Cortelezzi C., Maiza P., Marfil S., Milanese C.A., Pavlicevic R., "Consideraciones sobre la RAC en rocas dolomíticas", Comunicación, Memorias, 3ra. Jornada Tecnológica del Hormigón "Inq. Adolfo P. Grisi", AATH-LEMIT, La Plata, 1991.
- 13) Dolar-Mantuani L., "Late-expansion alkali-reactive carbonate rocks", IRB, Record No.353, 1971, pp. 1-14.
- 14) Grattan-Bellew P.E., "Tests methods and criteria for evaluating the potential reactivity of aggregates", Idem Ref.9, pp. 279-294.
- 15) Sims I., "The application and reliability of standard testing procedures for potential alkali-reactivity", Idem Ref.3, S252/13, 13pp.
- 16) CSA-A23.2-14A, "Alkali-aggregate reaction (Concrete prism test)". CSA, Methods of test for Concrete, CAN3-A23.2-M77, 1977.
- 17) ASTM-C-1105-89, "Length change of concrete due to alkali-carbonate rock reaction", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, 1989.
- 18) Larbi J.A., Hudec P.P., "A study of alkali-aggregate reaction in concrete: Measurement and prevention. Part I: Measurement-Development of rapid AR test method", Cem. and Concr. Res., Vol. 19, 1989, pp. 905-912.
- 19) Larbi J.A., Hudec P.P., "A study of AAR in concrete: Measurement and prevention. Part II: AR in saturated hot and cold NaCl solutions", Cem. and Concr. Res., Vol. 20, 1990, pp. 73-78.
- 20) ASTM-C-227-87, "Standard test method for potential alkali reactivity of cement-aggregate combinations (Mortar bar method)". Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, 1987.
- 21) ASTM-C-586-86, "Standard test method for potential alkali reactivity of carbonate rocks for concrete aggregates (Rock cylinder method)". Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, 1987.