

## ESTUDIO DE UN METODO PARA EVALUAR EL DETERIORO DEL HORMIGÓN AFECTADO POR LA RAS

Ponce, J. M..<sup>1</sup>

### RESUMEN

Existen gran cantidad de obras que se han ejecutado con hormigón armado por tratarse de un material de muy buenas características mecánicas y una alta prestación en el tiempo con un mínimo de mantenimiento. No obstante algunas obras muestran signos de deterioro por diversos motivos, uno de ellos se debe a la reacción álcali-sílice (RAS), que se produce por la interacción entre los minerales reactivos de diferentes tipos de agregados y cementos con alto contenido de álcali en presencia de humedad permanente o periódica. Dicha reacción es capaz de generar un gel que tiene la capacidad de absorber agua produciéndose así el hinchamiento del mismo y que consecuentemente genera presiones que pueden ser lo suficientemente grandes como para fisurar el hormigón. Muchas estructuras de hormigón afectadas por RAS deben ser estudiadas para evaluar su grado de deterioro con el fin de aplicar un mantenimiento o reparación profunda según sea el caso; para ello existen ensayos que se pueden aplicar con este fin. En este sentido el método presentado aquí tiene como objeto evaluar y permitir apreciar el daño en la macro y microestructura sufrida en el hormigón afectada por la RAS. El mismo se basa en la identificación petrográfica sobre una determinada superficie pulida de hormigón, (a través de lupa binocular con magnificación 16 X), en la magnitud de los daños evaluando un número variado de rasgos o evidencias de deterioro como lo son la presencia, en la pasta cementícea, de microfisuras rellenas con gel, microfisuración y la presencia de material de reacción en los agregados, agregados gruesos desadheridos y otros. Estas características son contadas y sumadas para finalmente aplicarles factores peso dando como resultado un valor cuantitativo del daño que ha sufrido la microestructura del hormigón.

### INTRODUCCIÓN

La reacción álcali sílice (RAS), presenta una patología que afecta las estructuras de hormigón cuando simultáneamente se hallan presentes 3 parámetros como son la presencia de agregados reactivos, un alto contenido de álcalis en el hormigón y un mínimo de 80 % de humedad relativa, la combinación de ellos provoca la generación de geles que poseen la particularidad de absorber agua produciendo un aumento de volumen con expansiones y agrietamientos de diferentes magnitudes en el hormigón, esto trae como consecuencia serios problemas de durabilidad, operativos, funcionales y de estética en las estructuras. La extensión interna del daño debido a la RAS generalmente se incrementa con el aumento en los niveles de reacción deletérea y de expansión. El examen petrográfico es una herramienta esencial para la diagnosis de las estructuras deterioradas por la reacción, ciertos síntomas producidos por la RAS pueden ser observados y evaluados en superficies

---

<sup>1</sup> Becario CIC-LEMIT- Docente Fac. Cs Nat. y Museo, UNLP email [geotecnia@universia.com.ar](mailto:geotecnia@universia.com.ar)  
Director . Ing. O. R. Batic (Investigador CIC-LEMIT, Prof. Fac. Ing. UNLP).

pulidas de hormigón. Con este fin se han desarrollado una serie de métodos tendientes a evaluar y apreciar cuantitativamente los deterioros sufridos, Blight et al (1), Sims et al (2), y más recientemente P.E. Grattan-Bellew (3), quien ha propuesto un Índice de Apreciación de Daño (DRI) que aporta buena información, y ha sido aplicado en Canadá y en Brasil. Calvacanti et al (4).

Este método es aplicado principalmente sobre los agregados gruesos que componen el hormigón y se basa en el reconocimiento de un número de rasgos petrográficos que están comúnmente asociados con el deterioro del hormigón por la RAS, se aplican una serie de factores de peso para permitir darle la correcta importancia al rasgo analizado y obtener una óptima apreciación de los daños sufridos en el hormigón

## OBJETIVO

El presente trabajo tiene como fin mostrar la aplicación del DRI en muestras de laboratorio y en hormigones extraídos en obras afectadas por RAS con el fin de evaluar el daño producido en la microestructura del hormigón y profundizar las propias experiencias obtenidas como así también estudiar las posibles modificaciones realizadas con el fin de obtener un mayor campo de confiabilidad en relación con el daño real producido en la estructura.

En este trabajo se dan a conocer los aspectos técnicos del método, su aplicación, análisis y evaluación de DRI para tres hormigones (M2, M2,y M3) de diferente origen que mostraban signos externos de reacción siendo la muestra M1 y M3 similares en la manifestación de los signos deletéreos y en M2 se observan en menor intensidad.

## EQUIPAMIENTO Y METODOLOGÍA

Para posibilitar la práctica de esta metodología es importante contar con cierto instrumental específico, el más importante es una lupa estereobinocular que posea una magnificación de no menos de 16 X y equipamiento adecuado para la obtención de secciones pulidas de trozos de hormigón.

El procedimiento comienza con la obtención de secciones pulidas, las superficies a estudiar son labradas con polvos devastadores hasta obtener una superficie especular, se debe tener cuidado en lavar la muestra lo justo y suficiente para quitar restos de abrasivos pero con cuidado de no desprender posible material vinculado a la reacción.

Sobre el área pulida se dibuja una grilla en donde cada cuadrado presenta 1.5 cm de lado, posteriormente se observa bajo lupa binocular con magnificación 16 X cada uno de ellos donde se evalúan 7 rasgos petrográficos vinculados con la RAS, a saber:

- 1- Agregados gruesos con presencia de fisuras (CA).
- 2- Agregados gruesos con presencia de fisuras con gel (CA + G).
- 3- Agregados gruesos desadheridos (D).
- 4- Bordes de reacción alrededor de los agregados (R).
- 5- Pasta cemento con presencia de fisuras (CP).
- 6- Pasta cemento con presencia de fisuras con gel (CP +G).
- 7- Huecos de aire con gel (AV).

Tabla1: Factor de peso para cada uno de los rasgos.

Tipo de rasgo	Factor
CA.	0.25
CA + G	2.00
D	3.00
R	0.50
CP.	2.00
CP +G.	4.00
AV	0.50

Estos rasgos son contados en cada cuadrado, posteriormente se suma la totalidad de los mismos y finalmente se los multiplica por diferentes factores de peso que se muestran en la Tabla 1. Los factores fueron propuestos (Grattan-Bellew y Danay) (3) para relativizar los defectos que contribuyen al deterioro y minimizar la influencia de otros mecanismos de agrietamiento que podrían tener un origen diferente al de la RAS como pueden ser ciclo de congelación y deshielo, ataque por sulfatos, fisuras propias en los agregados por previa trituración, etc. Los valores obtenidos son sumados y recalculados a 100 cm<sup>2</sup> de superficie dando finalmente un número que representa el DRI, este es un valor cuantitativo del deterioro total de una muestra dada.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS RASGOS PETROGRÁFICOS ESPECÍFICOS

Es importante a la hora de aplicar el método tener en cuenta algunas características propias de cada uno de los rasgos petrográficos y su relación con el valor obtenido que representan la cantidad de deterioro, por esto se comentará brevemente cada uno de ellos.

### Fisuras en los agregados gruesos y finos:

La reacción álcali-silice puede causar deterioro y agrietamiento en las partículas, pero también los agregados gruesos suelen tener fisuraciones que se originan por diferentes motivos antes de ser incorporados al hormigón ya sea de origen geológico como pueden ser alteraciones, exposiciones a temperaturas extremas (frío-calor), o fisuración provocada por la trituración de agregados, por esta razón se propusieron incorporar factores de peso tendientes a reducir la influencia de otros mecanismos de fisuración a la hora del conteo, el factor propuesto es de 0.25, aunque puede variar a 0.50 o más dependiendo del tipo de agregado en particular y la experiencia del petrógrafo en reconocer el posible origen de las fisuras, en el caso en que se encuentren rellenas con gel el factor se eleva a 2.00 debido al origen deletéreo de las mismas.

### Agregados con pérdida de adherencia:

Hay evidencias que la aparición de agregados desadheridos puede estar en relación directa con el tipo de agregado con polvo en su superficie, el caso de rocas sedimentarias como las areniscas cementadas por sustancias silíceas se puede ver la disolución del cemento por la reacción y la pérdida de cohesión entre granos y con la pasta cemento en la zona de la interface. Cabe observar que si bien hay que tomar en cuenta este rasgo a la

hora de aplicar el método, no es una evidencia concluyente de RAS en relación con el grado de expansión y deterioro.

### **Grietas en la pasta cemento:**

Este rasgo es evidente en la manifestación de reacción álcali-silice y por ello es importante tenerlo en cuenta en el método otorgándole factores de peso de 2.00 y 4.00 para fisuras vacías y rellenas con gel respectivamente esto se debe principalmente a que el desarrollo de fisuras en la pasta como en los agregados gruesos con o sin relleno de gel muestran buena correlación con el nivel de expansión según estudios realizados por Rivard P, et al (5).

Es importante comentar que a la magnificación usada (16X) es posible un conteo parcial de las microfisuras por lo que estudios petrográficos en sección delgada y la utilización de sustancias fluorescentes sobre la sección pulida complementarían los valores obtenidos en los DRI.

### **Bordes de reacción en los agregados:**

Este tipo de rasgo es también indicativo de RAS, lo que no quiere decir que si no esta presente no haya reacción deletérea, estos bordes se presentan alrededor de los clastos en forma de una fina aureola de coloración oscura brillante por la impregnación con gel, del cual muchas veces parten una serie de fisuras que afectan tanto al clasto como a la pasta cemento.

### **Huecos de aire rellenos con gel de RAS:**

Estos indican que hay reacción deletérea en la muestra analizada y que el gel se ha depositado en los mismos, su factor de equilibrio tiene un valor de 0.50 y obedece solo a la presencia de gel, ya que no hay necesariamente una relación directa entre la expansión y el número de poros rellenos con gel, de aquí su bajo valor en el factor, pero que de todas maneras es importante a la hora del recuento total de los rasgos para evaluar la cantidad de deterioro en la estructura.

## **CONSIDERACIONES SOBRE EL MÉTODO**

Es importante tener en cuenta ciertos aspectos referidos a la reproducibilidad del método y que tiende a mejorar la interpretación con la realidad del deterioro de la microestructura del hormigón analizada, algunos de los mismos son:

1-Tamaño de los agregados gruesos : son de influencia en el número final debido a que cuando mayor son los agregados más abarcan en la retícula y pueden solapar diferentes cuadrados los que serán contados varia veces.

2-Forma y composición de los agregados gruesos : se hallan diferencias sustanciales si los agregados tienen superficies lisas o rugosas por la influencia sobre la dinámica de la adherencia pasta agregado y de reacción en la interface con la consecuente aparición de bordes de reacción y zonas desadheridas.

3-El método es de difícil o conflictiva aplicación a agregados finos utilizando magnificación 16 X, aunque sería posible estudiar otros factores para darle viabilidad a su ejecución.

4-Es conveniente usar superficies equivalentes de muestras para el estudio cuando se desean hacer comparaciones entre las muestras de igual origen.

## APLICACIÓN DEL MÉTODO Y RESULTADOS

Para poner de manifiesto la practicidad del método se analizaron 3 de muestras de hormigón compuestas por diferentes tipos de agregados y edades. Las muestras M1 y M3 mostraban mayor deterioro que la muestra M2.

La primera de ellas (M1) corresponde a una probeta prismática que fue confeccionada en laboratorio con agregado grueso que contenía clastos no reactivos (roca granítica) y reactivos (cuarzo arenita silicificada) estacionadas 120 días a 38 °C y 95 % HR, esta última roca es la que ocasiona la RAS y produce los rasgos descritos anteriormente, el valor del DRI es **269**.

En la sección pulida (Fig. 1 y 1.a) se muestran la totalidad de los rasgos de deterioro siendo los más importantes el agrietamiento en la pasta, bordes de reacción y agregados desadheridos; en este caso el agrietamiento de los agregados gruesos reactivos no es tan relevante correspondiendo más a los no reactivos que serían atribuibles a un origen mecánico. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2.

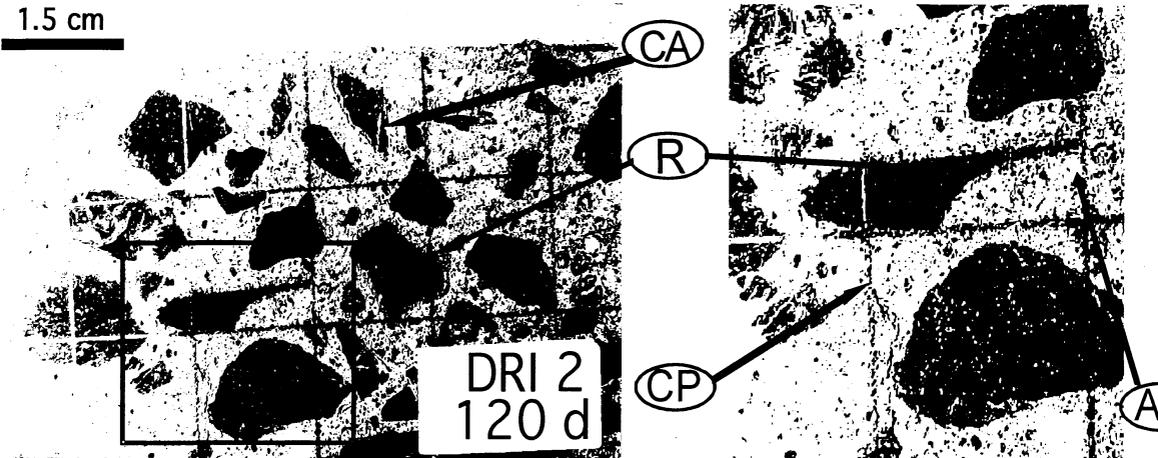


Figura 1: (M1) Cuadrícula marcada sobre hormigón con una zona de ampliación (1a).

CA: agregados agrietados, R: bordes de reacción, CP: grietas en la pasta, AV: huecos de aire con gel.

Figura 1.a: zona ampliada

Tabla 2: Aplicación del DRI a la muestra M 1.

N° de cuadrados	CA	CA+G	D	R	CP	CP+G	AV
1 a 7	9	0	4	1	1	0	1
8 a 14	10	4	8	9	12	5	7
15 a 21	4	2	8	7	7	1	3
22 a 28	9	0	2	3	2	1	1
29 a 35	7	1	5	4	4	0	3
$\Sigma$ rasgos	<b>39</b>	<b>7</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>7</b>	<b>15</b>
Factor	<b>0.25</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0.5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>0.5</b>
$\Sigma R \times$ Factor	<b>9.8</b>	<b>14</b>	<b>81</b>	<b>12</b>	<b>52</b>	<b>28</b>	<b>7.5</b>
Recalculo a 100cm <sup>2</sup>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>107</b>	<b>16</b>	<b>69</b>	<b>37</b>	<b>10</b>
<b>DRI = 269</b>							

La segunda muestra (M 2), (Fig 2) corresponde a un testigo cilíndrico de hormigón obtenido en un dique de aproximadamente 60 años de antigüedad, el agregado grueso presente esta compuesto en su gran mayoría por rocas metamórficas de grado variado (filitas, esquistos y gneises), el árido fino a una arena cuarzo lítica. El DRI obtenido es de 71.

En este caso los rasgos de reacción más relevantes corresponden a fisuración en los agregados gruesos ocasionalmente con presencia de gel como también rasgos de desadherencia, como complemento se hallaron exudaciones de la reacción sobre la pasta; en la Tabla 3 se detallan los valores cuantitativos hallados.

Tabla 3: Aplicación del DRI a la muestra M 2.

N° de cuadrados	CA	CA+G	D	R	CP	CP+G	AV
1 a 7	10	1	3	0	0	0	0
8 a 14	3	0	3	0	0	0	1
15 a 21	1	1	6	0	0	0	1
22 a 28	2	1	0	0	0	0	0
29 a 35	1	1	0	0	0	0	0
$\Sigma$ rasgos	<b>17</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
Factor	<b>0.25</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0.5</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>0.5</b>
$\Sigma R \times$ Factor	<b>4.2</b>	<b>8</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
Recalculo a 100cm <sup>2</sup>	<b>6.2</b>	<b>11</b>	<b>52</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.4</b>
<b>DRI = 71</b>							

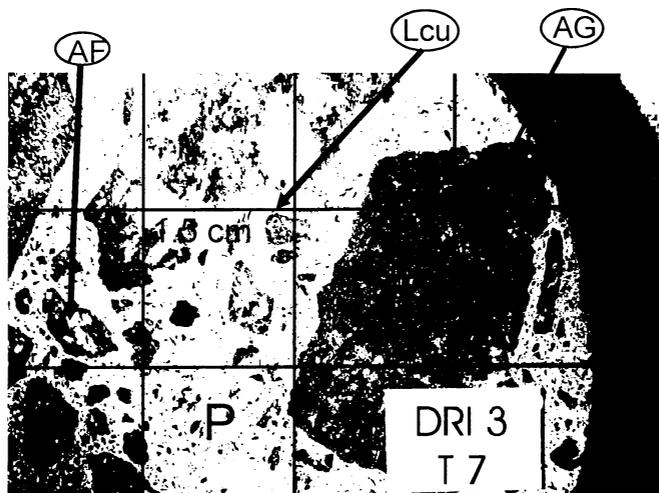


Figura 2: DRI aplicado a un testigo de obra. AG: agregado grueso, AF: agregado fino, Lcu: lado de la cuadrícula y sus dimensiones.

La tercera muestra analizada (M3) corresponde a probeta prismática confeccionada en el laboratorio (Fig. 3.a y b) expuesta a las mismas condiciones que M 1 pero durante un tiempo más prolongado (180 días), la misma fue elaborada con agregados gruesos no reactivos que corresponden a piedra partida granítica 6-20 mm, el árido fino pertenece a una arena cuarzo lítica de carácter reactiva. En este caso se muestra que los signos de reacción aparecen sobre el árido fino de origen volcánico-lásticos, en su mayoría de composición ácida presentando sobre sus superficies impregnaciones de gel, presencia de bordes de reacción con una tonalidad oscura y microfisuras que también suelen prolongarse en la pasta de cemento (Fig. 3.c y d).

Tabla 4: Aplicación del DRI a la muestra M 3.

1 a 7	7	0	0	1	1	1	2
Nº de cuadrados	CA	CA+G	D	R	CP	CP+G	AV
8 a 14	5	0	0	0	8	4	1
15 a 21	8	0	0	0	2	0	1
22 a 28	8	0	0	0	3	0	3
29 a 35	3	0	0	0	2	0	1
Σ rasgos	31	0	0	1	16	5	8
Factor	0.25	2	3	0.5	2	4	0.5
ΣR X Factor	7.8	0	0	0.5	32	20	4
Recalculo a 100cm <sup>2</sup>	10.4	0	0	0.7	42.7	26.7	5.3
<b>DRI = 86</b>							

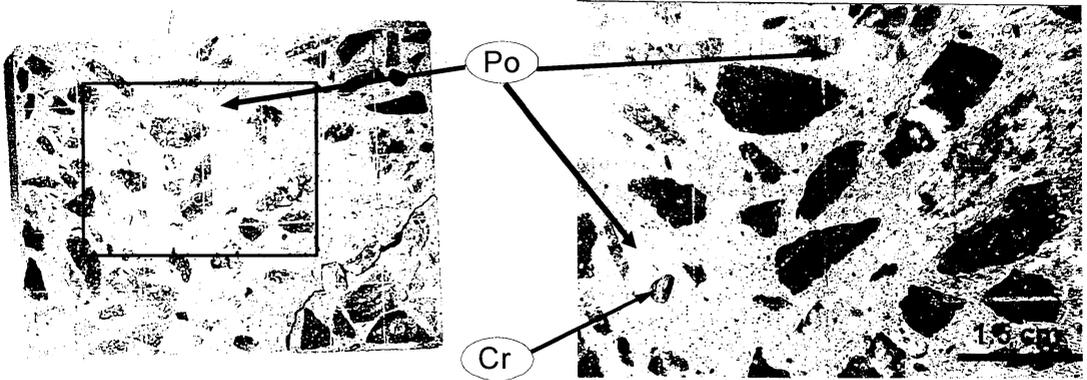


Figura 3.a: Sección pulida de estudio conteniendo agregados finos reactivos en la cual se práctico el DRI.

Figura 3.b: Ampliación (recuadro Fig. 3.a) mostrando poros con gel (Po) y clasto reactivo (Cr).

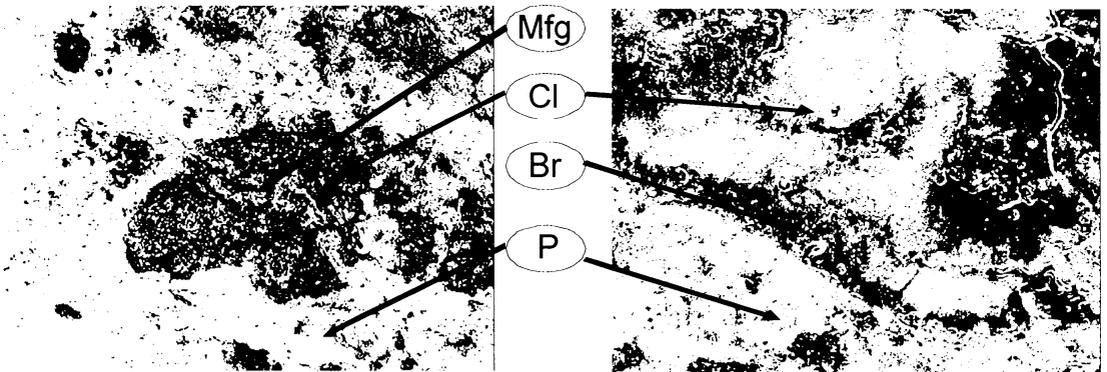


Figura 3.c: Fotomicrografía de la muestra 3 clasto de un agregado fino (Cl) atravesado por una microfisura rellena con gel (Mfg) que continua hacia la pasta (P) .Ancho de campo 510  $\mu\text{m}$ .

Figura 3.d: Fotomicrografía de un clasto reactivo (Cl) con el borde de reacción (Br) oscurecido y el gel brillante cubriendo toda la superficie del clasto Ancho de campo 1020  $\mu\text{m}$ .

El DRI obtenido para esta muestra con agregado fino reactivo fue de 86 parece algo bajo y es posible que suceda debido a que el árido grueso no es reactivo, sin embargo se observan los fenómenos deletéreos sobre la probeta, esto sugiere la necesidad de tomar precauciones al hacer una evaluación en base al DRI cuando solo los agregados finos son reactivos. Al aplicar este método dará un índice bajo si los agregados gruesos no son reactivos por lo que sería conveniente la introducción de un factor de peso con la finalidad de ponderar una igualdad en el valor de DRI final que guarde relación con el valor de daño significativo del hormigón de la misma manera que cuando se lo aplica sobre agregados gruesos reactivos. Los datos obtenidos se dan en la Tabla 4.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

No es el objeto en este trabajo comparar los resultados obtenidos en las muestras ya que no tienen las mismas características en cuanto a origen y materiales de confección si no el análisis de cada muestra en particular para reflejar la proporcionalidad que se encuentra entre los rasgos determinados y el valor cuantitativo de daño obtenido como se muestran en la Tabla 2 y 3.

Cabe destacar que el método es aplicable principalmente a los agregados gruesos contenidos en el hormigón siendo importante un conteo preciso de los síntomas petrográficos por cada uno de los cuadrados analizados de la malla ya que el valor de DRI es función de la cantidad de rasgos observados, por lo que aplicado a los áridos gruesos cuanto más alto es el valor de DRI mayor es el daño que se estima.

El DRI obtenido para la muestra M 3 arroja valor que no se ajusta demasiado a las observaciones visuales externas del deterioro del hormigón en estudio por lo que hace pensar la necesidad de buscar alternativas válidas como ser la incorporación de ponderadores para poder aplicar el método a hormigones afectados por la RAS con áridos finos reactivos en donde sobre estos últimos debería poder aplicarse el método y obtener valores comparables a los que se obtienen con los áridos gruesos, esto será motivo de futuras investigaciones.

## CONSIDERACIONES FINALES

La determinación del Índice de Apreciación de Daño es un método simple, rápido y de relativamente bajo costo cuando se lo aplica sobre agregados gruesos que componen el hormigón, con resultados prometedores para estimar y comparar el nivel de daño que posee una microestructura de hormigón afectada por reacción álcali sílice. El método consiste en contar una serie de rasgos petrográficos asociados a la RAS sobre secciones pulidas provenientes tanto de muestras de laboratorio como de obras en servicio.

Los factores de peso parciales de los rasgos observados tienen como propósito relativizar y minimizar la influencia de otros mecanismos de deterioro como pueden ser ciclos de congelamientos y deshielo, ataque por sulfatos, agregados fisurados por diferentes motivos antes de ser incorporados al hormigón, etc., y que son ajenos a la reacción álcali sílice pudiendo así influenciar sobre el valor final del DRI. El tamaño, número y composición de los agregados gruesos son importantes a la hora de aplicar los factores de peso.

Los valores de DRI obtenidos para las muestras de hormigón M 1 y M 2 con agregados gruesos reactivos proporcionan un valor cuantitativo de daño que se relaciona con los niveles de deterioro observados.

El método es difícil o problemático de interpretar en hormigones que contienen agregados finos reactivos si se utiliza una magnificación de 16 X tal como lo refleja el estudio sobre la muestra M 3. Posibles incorporaciones de factores de peso, el uso de una mayor magnificación en el análisis y/o complementado con microscopía óptica podrían ayudar a resolver este problema.

**REFERENCIAS**

- (1) Blight, G.E., Mclever, J.R., Schutte, W.K., and Rimmer R., "The Effects of Alkali-Aggregate Reaction on Reinforced Concrete Structures Made with Witswatersand Quartzite Aggregate". Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on AAR in concrete, Cape Town (South Africa), 1981, Paper. S252-15.
- (2) Sims, I., Hunt B., and Miglio, B., "Quantifying Microscopical Examination of Concrete for AAR and other Durability Aspect. Durability of Concrete, G.M., Idorn International Symposium, Eds; J. Holm, M. Geike, ACI SP-131, American Concrete Institute, Detroit USA, SP-131-14, 1992, pp. 267-287.
- (3) Grattan-Bellew, P. E., and Danay, A., "Comparison of Laboratory and Field Evaluation of Alkali-Silica Reaction in Large Dam", Proc International Conference on Concrete AAR in Hydroelectric Plants and Dams, Canadian Electrical Association in association with Canadian National Committee of ICOLD, Fredericton (N-B), 1992, 23 p.
- (4) Calvacanti, A. J. C. T., Silveira, J. F. A., and Desgaspare, J. C., "AAR management at Paulo Afonso Power Plant-Brazil.), Proc. 11<sup>th</sup> Int. Conf. on AAR in Concrete, Quebec City (Canada), 2000, pp.1263-1272.
- (5) Rivard, P., Fournier, B., and Balliv , G., "Quantitative Petrographic Technique for Concrete Damage Due to ASR: experimental and application, Cement Concrete and Aggregates, Vol. 22 N° 1, 2000, pp. 63-72.