



JORNADAS DE JÓVENES INVESTIGADORES DE LA A.U.G.M.

“CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA INTEGRACIÓN REGIONAL”

Universidad: Nacional de La Plata.
Facultad/Instituto/Centro,etc: Facultad de Ingeniería.
Departamento Cátedra: Departamento de Construcciones, Cátedras: Materiales III
Curso de Posgrado (si fuera necesario)
Dirección: 47 y 115 – Departamento de Construcciones. Facultad de Ingeniería. U.N.L.P.
Teléfono: 0221-4233880 Fax: 0221-4214446 E-mail: learma@topmail.com.ar
Autor: Leandro R. Armanini
Título: REACCION ALCALI-SILICE. APLICACION DE UN METODO CINETICO BASADO EN LA NORMA ASTM C1260.
Núcleo Disciplinario o Comité Académico: Ciencia e Ingeniería de los Materiales.
Otros miembros del grupo (si fuera necesario): Oscar R. Batic
Palabra Clave: Agregado reactivo - RAS - Hormigón (Español)



REACCION ALCALI-SILICE. APLICACION DE UN METODO CINETICO BASADO EN LA NORMA ASTM C1260

Armanini, Leandro R.^{1,2} ; Batic, Oscar R.^{1,2}

¹⁾Depto. Construcciones, Fac. de Ingeniería, UNLP, ²⁾ LEMIT-CIC

E-mail : leoarma@topmail.com.ar

INTRODUCCION

Es importante en la ejecución de obras de hormigón asegurar la durabilidad. Una de las preocupaciones es evitar que se produzca la reacción álcali-sílice; para ello es necesario detectar, previo al uso, a los agregados reactivos frente a los álcalis. Para este fin se han desarrollado varios métodos acelerados en los últimos 60 años. Uno de los más difundidos y aceptados es el propuesto por la norma IRAM 1674 (ASTM C1260 [1]) [2] con el que se hicieron experiencias interesantes [3]. Sin embargo, aplicado a algunos agregados particulares, tiene indefiniciones aún no resueltas, por ejemplo, hay algunos que tienen buen comportamiento en obra y este método los indica como reactivos y también existe un ámbito de indefinición para agregados que provocan a los 16 días expansiones entre 0.10 y 0.20%. Expansiones menores del 0.10% indican en la mayoría de los casos un comportamiento inocuo, mientras que las mayores al 0.20% indican una expansión potencialmente deletérea. A fin de resolver estas incongruencias, Johnston (1994) utilizó un procedimiento de ajuste mediante polinomios y, ajustando coeficientes, volcó en un gráfico expansiones Vs. tiempo para cada agregado. A pesar de que este procedimiento arrojó resultados prometedores, su alcance estaba limitado ya que cada laboratorio debía desarrollar sus propias correlaciones para la utilización del método como así también tener mediciones efectuadas a las mismas edades para ser comparables.

El método está basado en el nucleamiento y crecimiento de fases (cinética de la reacción en la transformación de fase) donde el porcentaje de expansión está relacionado exponencialmente a la potencia del tiempo. La ecuación cinética tiene forma logarítmica, que puede resolverse por mínimos cuadrados, donde encontramos dos parámetros : $\ln K$ y M , siendo $\ln K$ la intersección y M la pendiente de la línea de regresión, que puede utilizarse para determinar la reactividad potencial. Al volcar en un gráfico M Vs. $\ln K$, se obtendrán dos dominios separados : uno conteniendo agregado reactivo y el otro conteniendo agregado inocuo. El valor de $\ln K < -6$ se asocia con agregados inocuos.

El método NBRI para la determinación de la reactividad alcalina potencial, es una prueba severa para determinar la RAS de los agregados en el hormigón. Tiene la ventaja de que el ensayo sólo dura 16 días

frente a los 6 meses o 1 año que demandan los métodos de la barra de mortero o del prisma de hormigón (ASTM C 227 o IRAM 1700). La ventaja en la obtención rápida de resultados está opacada, por un lado por la tendencia del procedimiento para sobreestimar la reactividad debido a la severidad de las condiciones de ensayo y, por otro, de subestimar la reactividad de ciertos agregados debido a una expansión insuficiente o bien el resultado se encuentra en un segmento de indefinición (expansiones entre 0.10 y 0.20%).

Johnston D., Stokes D, y Surdahl R, [4] proponen un método basado en la cinética de la RAS que se constituye en una herramienta útil para resolver y tomar decisiones ante estas situaciones.

DESARROLLO DEL MODELO

Se encontró que el modelo de Kolmogorov – Avrami – Mehl – Johnson[5] que describe la cinética de la reacción en la transformación de fase sería el más apropiado para representar la expansión debida a la RAS. El mismo se describe a continuación.

$$\alpha = 1 + \alpha_0 - e^{-k(t-t_0)^M}$$

donde : α_0 : grado de reacción a la edad t_0 , cuando el nucleamiento y el crecimiento son dominantes.

K : constante que combina los efectos del nucleamiento, crecimiento multidimensional, geometría de los productos de la reacción y difusión.

α : grado de reacción a la edad t ($\alpha_\infty < 1$).

Al desconocerse el valor final de α , se utilizó una fórmula propuesta por Berliner et al. (1998) [6] para modelar la cinética de la hidratación del C_3S . Para este fin es necesario obtener la expansión a las edades de 6, 9, 13, 16, 19, 23, 28 y 31 días, sin embargo este aspecto no es definitorio, ya que se han encontrado resultados satisfactorios con las lecturas usuales realizadas durante la duración normalizada de IRAM 1674.

Para t_0 se seleccionó la edad de 6 días con el valor correspondiente de expansión para α_0 . El ajuste se realizó mediante regresión lineal utilizando las expresiones :

$$\ln \ln \left[\frac{1}{1 + \alpha_0 - \alpha} \right] \quad \text{Vs.} \quad \ln (t - t_0)$$

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

Se han seleccionado una serie de agregados de distinta mineralogía (Cuadro 1) que fueron ensayados de acuerdo a la norma IRAM 1674 (Cuadro 2), algunos de ellos muy reactivos, otros que, según el resultado

son reactivos pero resultaron inocuos en el campo y viceversa y, finalmente, otros con muy baja expansión.

En el Cuadro 1 se muestra una breve reseña de cada uno de los agregados.

Cuadro 1. Identificación de los agregados utilizados para el estudio.

La referencia * indica que la muestra fue obtenida en diferente época que su precedente.

Nro.	Identificación	Procedencia	Petrografía o Mineralogía	Antecedentes de uso o Laboratorio
1	El Naranjo	Tandil	roca granítica	R en laboratorio
2*	El Naranjo	Tandil	roca granítica	R en laboratorio
3	La Dorita Yofre	Corrientes	basalto	R en obra – R en laboratorio
4	Cantera azul	Dos arroyos	roca granítica	Pavimentos – Tigre R en laboratorio
5	Concordia	Entre Ríos	basalto	R en laboratorio
6*	Concordia	Entre Ríos	basalto	R en laboratorio
7	La Dorita Yofre	Corrientes	basalto	R en laboratorio
8	Don Pedro	Tandil	roca granítica	NR en obra R en laboratorio
9	Yocsina	Córdoba	carbonática	NR en obra – NR en laboratorio
10	Minuana	Uruguay		R en obra NR ensayo
11*	Minuana	Uruguay		R en obra NR ensayo
12*	Minuana	Uruguay		R en obra NR ensayo
13	Barmag	C. Rivadavia	rodados patagónicos	R en obra NR ensayo
14	Marengo	Olavarría	roca granítica	NR en laboratorio
15	Yaraví	Mar del Plata	cuarcita	NR en obra – NR en laboratorio
16	Yaraví	Mar del Plata	cuarcita	NR en obra – NR en laboratorio
17	Piatti	Olavarría	roca granítica	NR en obra – NR en laboratorio
18	Arena “oriental”	Uruguay	arena sílico-feldespática	NR en obra – NR en laboratorio
19	Arena “oriental”	Uruguay	arena sílico-feldespática	NR en obra – NR en laboratorio
20	Arena “oriental”	Uruguay	arena sílico-feldespática	NR en obra – NR en laboratorio
21	Arena “oriental”	Uruguay	arena sílico-feldespática	NR en obra – NR en laboratorio

Cuadro 2. Resultados obtenidos al ensayar los agregados según norma IRAM 1674

MUESTRA	Expansión [%], a la edad [días]					M	ln K
	3	6	9	13	16		
1	0,011	0,028	0,048	0,085	0,131	1,398	-5,44
2	0,035	0,07	0,123	0,167	0,231	0,972	-3,978
3	0,052	0,192	0,338	0,394	0,48	0,636	-2,544
4	0,025	0,036	0,053	0,145	0,163	1,716	-5,948
5	0,047	0,111	0,207	0,393	0,423	1,087	-3,486
6	0,017	0,097	0,193	0,318	0,402	1,065	-3,463
7	0,024	0,073	0,145	0,285	0,302	1,036	-3,732
8	0,036	0,066	0,1	0,141	0,181	1,048	-4,516
9	0,008	0,018	0,033	0,05	0,062	0,906	-5,187
10	0,013	0,02	0,026	0,035	0,035	0,762	-5,946
11	0,007	0,074	0,135	0,201	0,235	0,852	-3,702
12	0,005	0,081	0,133	0,206	0,251	1,038	-4,07
13	-0,007	-0,002	0,009	0,029	0,041	1,375	-6,291
14	0,006	0,023	0,026	0,032	0,049	1,977	-7,98
15	0,03	0,028	0,031	0,033	0,034	0,577	-6,442
16	0	0,01	0,02	0,031	0,038	0,863	-5,549
17	-0,003	0,013	0,025	0,035	0,041	0,711	-5,199
18	0,003	0,018	0,028	0,051	0,082	1,565	-6,32
19	0,005	0,022	0,039	0,058	0,072	0,91	-5,066
20	0,007	0,009	0,023	0,031	0,034	0,487	-4,798
21	0,01	0,024	0,038	0,059	0,074	1,072	-5,439

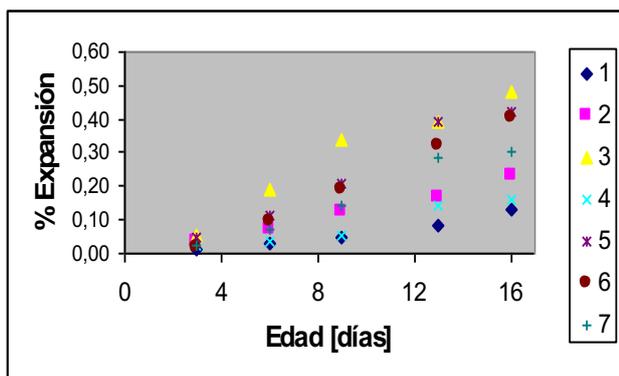


Fig. 1- Expansión versus tiempo
Fig. 3- Expansión versus tiempo

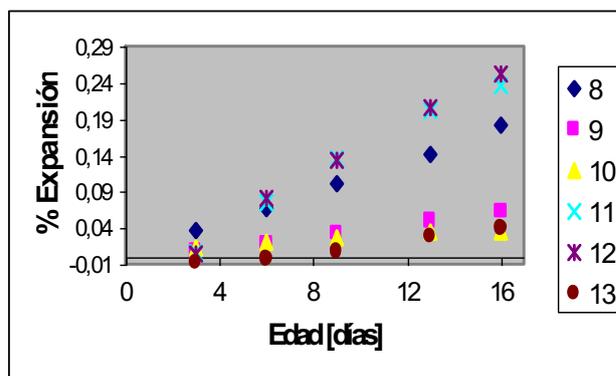
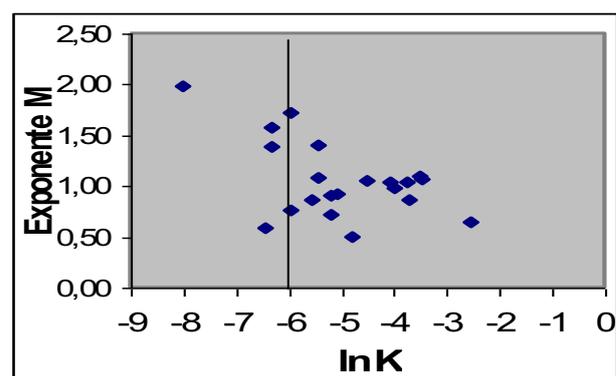
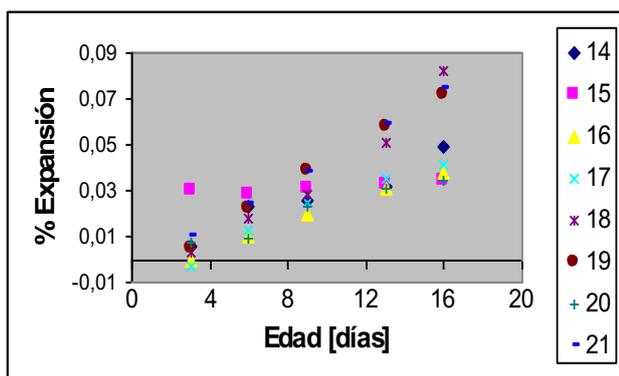


Fig. 2- Expansión versus tiempo
Fig. 4- Exponente M versus ln K



En la Fig. 1 se grafican los resultados obtenidos para los agregados 1 a 7 que concuerdan con los criterios de expansión establecidos por IRAM 1674.

El agregado 10 (Fig. 2) presenta una expansión de 0.035% a los 16 días, no obstante, el método cinético en base a los valores obtenidos para M y ln K (Fig. 4) lo clasifica como reactivo, hecho que se verifica con los resultados de campo.

Los agregados 14, 15 y 18 (Fig. 3) resultaron inocuos, presentando expansiones de 0.049, 0.034 y 0.082% respectivamente a los 16 días. Los demás resultados obtenidos para 16, 17, 19, 20 y 21 con expansiones de 0.038, 0.041, 0.072, 0.034 y 0.074% respectivamente a los 16 días no se condicen con los del método cinético, que los clasifica como reactivos aunque cerca del límite propuesto. En “análisis de los resultados” se expone una explicación para estas incongruencias.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La aplicación del método basado en la cinética de la reacción álcali-sílice acelerada arroja resultados acordes al método acelerado de la barra de mortero IRAM 1674.

El uso de la ecuación cinética parece ser independiente con respecto a la edades en las que se miden las expansiones dentro de los 16 días de duración del ensayo. El procedimiento también parece ser aplicable para edades mayores. El uso de $\ln K < -6$ como criterio de agregados no reactivos es tentativo, pero ha resultado conveniente para los análisis conducidos utilizando los parámetros cinéticos. Como todos los ensayos que predicen la RAS en laboratorio, existen excepciones a esta regla general; algunos agregados reactivos pueden no cumplir el criterio, mientras que otros inocuos pueden ser clasificados como reactivos.

El mejor argumento a favor del método con interpretación cinética, es su habilidad para discriminar entre agregados reactivos e inocuos independientemente de la expansión obtenida a los 16 días.

Por otra parte, el éxito en la aplicación del método radica en la selección del tiempo t_0 y su correspondiente expansión α_0 . La selección de un valor muy temprano de t_0 puede disminuir la efectividad del método y bajo estas condiciones, el modelo cinético utilizado puede no describir la expansión.

CONSIDERACIONES FINALES

- El objetivo de este artículo es dar a conocer la aplicación del método cinético para someterlo a pruebas futuras y así comprobar su eficacia, contando de esta manera con otra herramienta para la determinación de agregados potencialmente reactivos frente a los álcalis.
- Se halló una buena correlación con respecto a los agregados que muestran una rápida reacción (aquellos que contienen ópalo, tridimita, cristobalita, etc.). También para agregados graníticos de reacción diferida (conteniendo cuarzo tensionado y/o criptocristalino) se encontraron resultados acordes a IRAM 1674, con la salvedad de algunos que, según esta eran inocuos y demostraron reactividad en el campo, hecho ratificado por el método cinético. Con respecto a los agregados de muy baja reactividad según IRAM 1674, se observó la sensibilidad mencionada en “análisis de los resultados” con respecto a la elección del tiempo t_0 , obteniendo resultados dispares.
- Se deberán ampliar los estudios a una mayor cantidad y diferente mineralogía de agregados a fin de evaluar la bondad del método.

REFERENCIAS

- [1] Oberholster, R. And Davies, G., 1986, “An Accelerated Method for Testing the Potential Alkali Reactivity of Siliceous Aggregates,” Cement and Concrete Research, Vol. 16, pp. 181-189.

- [2] Normas IRAM 1674 y ASTM C 1260.
- [3] Batic O. R., Milanesi C. A., Sota J. D., 1996, "Método de ensayo acelerado de la barra de mortero (NBRI). Una revisión crítica con miras a su normalización", Revista Hormigón N° 29, pp. 29-41
- [4] Johnston D., Stokes D., and Surdahl R., 2000, "A Kinetic-Based Method for Interpreting ASTM C1260", Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP. Vol. 22, No. 2, pp. 142-149.
- [5] Avrami, M., Chem, J., Phys. 7.1103 (1939), 8.212 (1939), 9.177 (1940).
- [6] Berliner, R., Popovici, M., Herwig, K., Berliner, M., Jennings, H. and Thomas J., 1998, "Quasielastic Neutron Scattering Study of the Effect of Water-to-Cement Ratio on the Hydratation Kinetics of Tricalcium Silicate, " Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 2, pp. 231-243.