



EFFECTIVIDAD DEL USO DE MICROSILICA Y PUZOLANA CLASE F PARA INHIBIR LA EVOLUCIÓN DE LA ASR, EN ARENAS REACTIVAS DE CHIHUAHUA.

C.O. Olague¹, J.A. Hernández²

Resumen: Se presenta información teórica y aplicada sobre el proceso de reactividad álcali-sílice, y las medidas de mitigación en el concreto. Se estudio la factibilidad de usar adiciones de micro sílice y ceniza volante clase F para mitigar la evolución de la RAS, cuando se requiera usar agregados potencialmente reactivos y/o cementos altos en álcalis. Esta investigación estudia la efectividad del uso de microsilica y puzolana clase F, en concretos elaborados con bancos de arena natural reactiva de ciudad Juárez Chihuahua, y con agregados de río, en este caso del Río Satevo cercano a la ciudad de Chihuahua y de gran uso en obras de infraestructura. Se utiliza la prueba ASTM C 1260 para determinar las variaciones en el potencial de expansión de barras de mortero: agregado reactivo, cemento y adiciones minerales, en diferentes porcentajes. Para la determinación de la expansión se utilizó el aparato comparador de longitudes (ASTM C 490).

Palabras clave: Concreto, Reacción álcali sílice, Mortero, Expansión.

Summary: Information theoretical and applied on the process of reactivity alkali-silica appears, and the measures of mitigation in the concrete one. Study the feasibility to be used additions of micro silica and flying ash class F to mitigate the evolution of the RAS, when it is required to use potentially reactive aggregates and/or high alkali cements. This investigation studies the effectiveness of the use of micro silica and puzolane class F, in concrete elaborated with reactive natural sand banks of city Juarez Chihuahua, and with aggregates of river, in this case of the Satevo River near the city of Chihuahua and great use in infrastructure works. Test ASTM C 1260 is used to determine the variations in the potential of expansion of mortar bars: reactive aggregate, mineral cement and additions, in different percentage. For the determination of the expansion the apparatus was used comparator of lengths (ASTM C 490).

Key words: Concrete, Reaction alkali silica, Mortar, Expansion.

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Nuevo Campus Universitario, Chihuahua, Chih., México.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Nuevo Campus Universitario Chihuahua, Chih., México.

La reacción álcali sílice afecta la durabilidad de estructuras de concreto, ocasionando deterioros prematuros del concreto construido con agregados reactivos. La reacción ASR en concretos de cemento Pórtland ocurre cuando los álcalis del cemento reaccionan con la sílice de los agregados produciendo un gel que en presencia de humedad se expande, causando un agrietamiento en forma de piel de cocodrilo característico de la reacción. El gel en presencia de humedad da lugar a un incremento en la presión interna en regiones localizadas de la matriz cementosa, esto induce deformaciones y puede iniciar un micro ó macro fracturamiento, expansión excesiva y/o desalineamiento de la estructura. La figura 1 muestra una imagen vista al microscopio de un concreto afectado por la ASR.

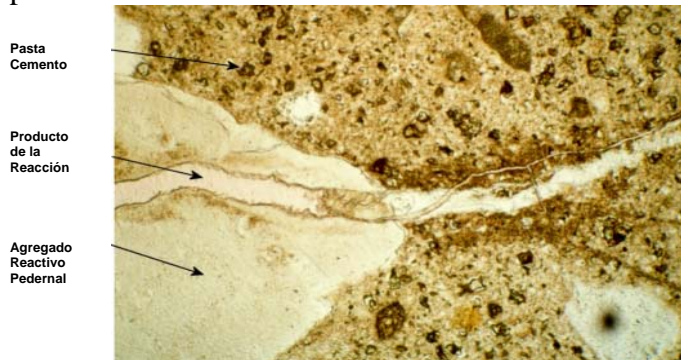


Figura 1. Imagen de un concreto dañado por ASR, se observa el gel y el patrón típico de agrietamiento

El deterioro álcali sílice, como se menciono anteriormente, en un nivel micro estructural, puede ser atribuido a la formación de un gel hidrófilico debido a la sílice reactiva de los agregados (S^{2+}), álcalis en el clinker del cemento (llamados K^+ y Na^+) y agua en la solución de poro del concreto. Macro estructuralmente las grietas pueden debilitar o degradar las condiciones de la estructura, extendiéndose por la acción del congelamiento y deshielo o cargas del tráfico causando la falla prematura de los pavimentos.[1]. La expansión inicial aparece en la superficie del pavimento con forma irregular, como un fracturamiento en forma de mapa (map-cracking), la cual puede llevar a desconchamiento de juntas (popout), estallamientos y otra clase de problemas relacionados con presiones.[2].

Olague y Castro [2] estudiaron los deterioros prematuros que se estaban presentando en la ciudad de Chihuahua, observando algunas vialidades dañadas por la acción de la ASR, como es el caso de la vialidad Juan Escutia, la cual presenta un severo agrietamiento en forma de mapeo y desconchamiento, que se muestra en la figura 2. Asimismo el Puente Sacramento ubicado en el entronque de la calle Juárez y la carretera a Aldama, evidencia el mapeo característico de la reacción el cual se observa en las fotografías del parapeto del puente mostrado en la figura 2.



Figura 2. Deterioros debidos a ASR en la Vialidad Juan Escutia, y en el parapeto del puente Sacramento.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México

Del 12 al 14 de Noviembre



Las investigaciones de Olague y Castro evidenciaron la causa de los deterioros mostrados y la cual es atribuible a la ASR, este trabajo pretende probar la efectividad en el uso de microsilíce y puzolana clase F para inhibir la evolución de la reacción en la elaboración de concretos nuevos en que se utilicen los mismos bancos de materiales que fueron usados en la construcción de las vialidades Juan Escutia y calle 34 y del puente Sacramento, entre otros.

Los objetivos de la investigación fueron:

- Determinar el grado del potencial de expansión de las barras de mortero formadas con arenas de las principales ciudades del estado de Chihuahua: Cd. Juárez y Chihuahua, con la característica de que en el caso de Juárez provienen de bancos de arena natural bastante empleados en la construcción y en el caso de Chihuahua son agregados de río provenientes del Río Satevo, de origen ígneo, también bastante utilizados. Las barras se elaboraron con los cementos disponibles, uno alto en álcalis y otro bajo en álcalis.
- Establecer el porcentaje óptimo de la adición mineral que mitiga la ASR y probar su efectividad.
- Elaborar una guía de la aplicación de materiales cementantes suplementarios cuando se combinan con arenas reactivas de Chihuahua.
- Desarrollar una metodología para diseñar mezclas de concreto con medidas de mitigación de ASR en caso de emplearse agregados reactivos.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La metodología experimental consistió en adicionar distintos porcentajes tanto de micro sílice como de la puzolana clase F y determinar la expansión mediante la prueba ASTM C 1260 [3]. Se consideraron 15 combinaciones de mortero utilizando los siguientes porcentajes:

M1: Arena Juárez – Cemento Bajo álcalis

M2: Arena Juárez – Cemento Alto álcalis

M3: Arena Juárez – Cemento Alto álcalis – Microsílica 5%

M4: Arena Juárez – Cemento Alto álcalis – Microsílica 10%

M5: Arena Juárez – Cemento Alto álcalis – Microsílica 15%

M6: Arena Juárez – Cemento Alto álcalis – Ceniza Volante clase F 15%

M7: Arena Juárez – Cemento Alto álcalis – Ceniza Volante clase F 20%

M8: Arena Juárez – Cemento Alto álcalis – Ceniza Volante clase F 25%

M9: Arena Chihuahua – Cemento Alto álcalis

M10: Arena Chihuahua – Cemento Bajo álcalis

M11: Arena Chihuahua – Cemento Alto álcalis – Ceniza Volante clase F 15%

M12: Arena Chihuahua – Cemento Alto álcalis – Ceniza Volante clase F 20%

M13: Arena Chihuahua – Cemento Alto álcalis – Ceniza Volante clase F 25%

M14: Arena Chihuahua – Cemento Alto álcalis – Microsílica 5%

M15: Arena Chihuahua – Cemento Alto álcalis – Microsílica 10%

RESULTADOS

Como resultado de la prueba de microscopia electrónica de barrido, se observa que la arena de ciudad Juárez tiene un alto contenido de sílice (29.10%), mostrando cristales de cuarzo (C), microclina (M), sanidina (S) y fragmentos líticos de cuarcita (Cr), granito (G), riolita (R),



hornos de epidota (H) y pedernal (P). La combinación de estos minerales crea un potencial alto de reactividad álcali sílice.

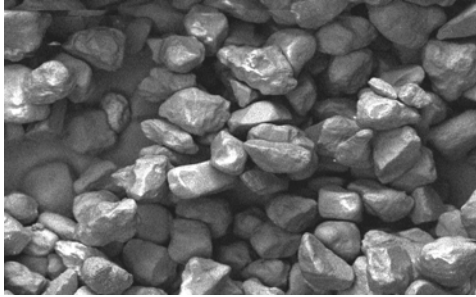


Figura 3. Arena de ciudad Juárez, imagen de electrones retrodispersados 95X.

Como resultado de la prueba de microscopia electrónica de barrido, se observa que la arena del río Satevo tiene un menor contenido de sílice (20.01%), mostrando cristales de cuarzo (C), calcita, aluminatos calcicos (AlCa) y cristobalita, 95 X. La combinación de estos minerales crea un potencial medio de reactividad álcali sílice.

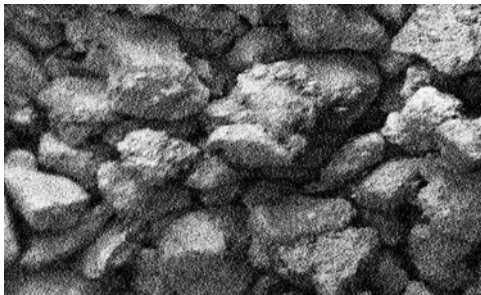


Figura 4. Arena del río Satevo, imagen de electrones retrodispersados 95X.

Se utilizaron dos tipos de cemento representativos de los cementos más utilizados en la ciudad de Chihuahua, el cemento Alto en álcalis tipo 1 (C1) y el cemento Bajo en álcalis (C2), ambos fueron sometidos a un análisis químico para determinar el porcentaje de compuestos contenidos, estos resultados se muestran en la tabla 1 [4]. Como resultado de este estudio tenemos la siguiente tabla:

Tabla 1. Análisis químicos de los cementos utilizados.

Compuesto	C1	C2
SiO ₂ %	19.56	20.14
Al ₂ O ₃ %	4.79	4.86
Fe ₂ O ₃ %	2.93	3.24
CaO %	61.37	63.41
MgO %	2.50	2.52
SO ₃ %	3.69	2.88
Na ₂ O %	0.45	0.06



K ₂ O %	0.73	0.57
TiO ₂ %	0.20	0.23
P ₂ O ₅ %	0.11	0.11
Mn ₂ O ₃ %	0.19	0.06

La microsílca es un micro relleno que físicamente llena los espacios entre las partículas del cemento reduciendo la permeabilidad, reacciona químicamente dentro de la matriz cementicia para aumentar la cantidad de hidróxido de calcio (gel HSC), éste es un agente de adhesión que mantiene la matriz cementicia aglomerada en el estado de solidificación. [5]. En la imagen obtenida se muestra una estructura esférica, de diversos tamaños, lo cual permite reducir los vacíos entre el agregado y cemento.

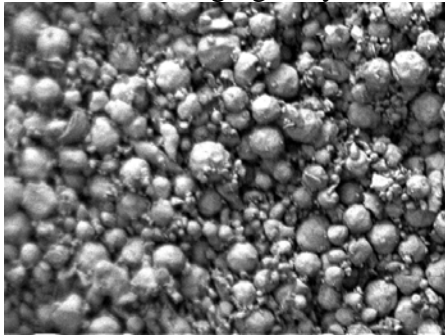


Figura 5. Microsílca Rheomac SF100, imagen de electrones retrodispersados 95X.

La producción de la ceniza volante de clase F esta dada por la combustión del carbón bituminoso. La ceniza producida por estos carbones contiene solamente una mínima cantidad de calcio, menos del 10% de CaO, con contenidos de carbono usualmente menores del 5%. La ceniza volante clase F no exhibe características de auto-cementación. La adición de una piedra caliza causa una reacción puzolánica produciendo un producto cementante.

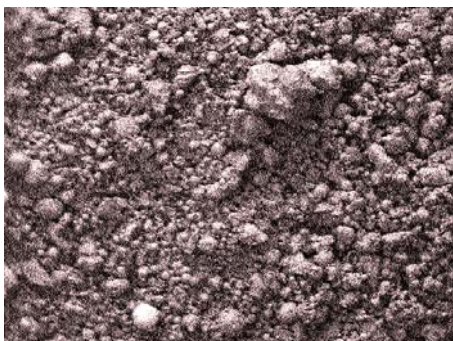


Figura 6. Ceniza Volante Clase F, imagen de electrones retrodispersados 95X.

Diseño de la mezcla de Mortero

Se prepararon tres especímenes de prueba por cada combinación arena-cemento-material cementante suplementario. Los moldes utilizados fueron los especificados en la norma ASTM C 490, en los cuales su superficie interior se cubrió con aceite para evitar que las barras se pegaran al molde. Las cantidades de materiales especificadas para la elaboración de las barras son de 440 gr. de cemento, 900 gr. de arena con una proporción agua-cemento de 0.47 por masa por lo que le



corresponde la cantidad de 210 ml de agua. En los morteros basados en combinaciones se le restó a la masa de cemento la masa de microsíllica o ceniza volante, para mantener las cantidades especificadas. La mezcla del mortero se realizó con los requerimientos de la norma ASTM C305. Inmediatamente después de colados los moldes, se colocaron en el cuarto de humedad, donde permanecieron por 24 hrs. La temperatura del cuarto se adecuó a 23°C más 1.7°C de acuerdo a la norma ASTM C 511. Pasadas las 24 hrs. se retiraron los especímenes del molde, protegiéndolos de la pérdida de humedad, se identificaron y tomaron lecturas iniciales en el comparador de longitudes referido en la norma ASTM C 490. Dicho comparador esta compuesto por una base metálica adicionada con un micrómetro electrónico, el cual mide longitudes en unidades 0.001 mm. Una vez medidos, los especímenes se sumergieron en contenedores (a prueba de altas temperaturas) con agua y se colocaron en un horno a 80°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$ en un periodo de 24 hrs.

Después de las 24 hrs. en el horno, se extrajeron las barras una a la vez, se sacaron y se procedió a tomar la lectura cero de cada barra, el proceso de secado y lectura debe ser de 15 seg., con una tolerancia de ± 5 seg. Inmediatamente, las barras se sumergieron en contenedores con la solución reactiva de NaOH, esta solución se formó en base a la norma ASTM C 1260, especifica que cada litro de solución deberá contener 40.0 gr. de NaOH disuelta en 900 ml de agua y debe ser diluida con agua destilada para obtener 1.0 lt de solución. Los contenedores se regresaron al horno a una temperatura de 80 °C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$, permaneciendo en el horno durante los siguientes 14 días; se tomó una lectura intermedia a los 7 días y dichas lecturas se tomaron a la misma hora.

Obteniendo los datos de todas las lecturas, se calcula la diferencia entre la lectura cero y la lectura de 14 días en 0.001% de longitud efectiva y se registra la expansión del espécimen. Para el cálculo de esta expansión se utiliza la formula:

$$L = [(L_x - L_i) / G] \times 100$$

Donde:

L = Cambio de longitud en un tiempo “x”, %.

Lx = Lectura del comparador del espécimen en “x” tiempo menos la lectura del comparador de la barra de referencia, mm.

Li = Lectura inicial del comparador del espécimen menos la lectura del comparador de la barra de referencia, mm.

G = Longitud nominal del ancho del molde, las lecturas fueron tomadas en mm. por lo que corresponde un valor de 250.

Los porcentajes obtenidos de la prueba serán interpretados con los siguientes límites:

- Porcentaje de expansión < 0.10% : materiales no reactivos
- Porcentaje de expansión > 0.20% : materiales potencialmente reactivos
- Porcentaje de expansión entre 0.10% < L < 0.20 %: materiales posiblemente reactivos , se necesita información suplementaria para determinar su potencial.

En el caso de la arena de Juárez, la figura 7 representa los porcentajes de expansión de las barras de mortero formadas por la mezcla de arena con los 2 tipos de cemento considerados (Alto y bajo en álcalis). Podemos observar que ninguno de los morteros cumple con el límite de expansión de



0.1% por lo que es necesario la adición de materiales cementantes suplementarios a la mezcla con la finalidad de reducir esta expansión.

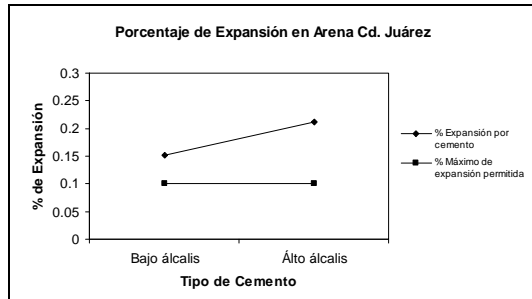


Figura 7. Porcentaje de expansión de barras de mortero con arena de Juárez y 2 Tipos de Cemento.

En el caso de las combinaciones con MCS, la arena de Juárez reacciona positivamente al adicionar microsilica en 15% ó ceniza volante 25%; las combinaciones con porcentajes de concentraciones menores a los indicados anteriormente resultaron potencialmente reactivos a la RAS, como se muestra en la figura 8..

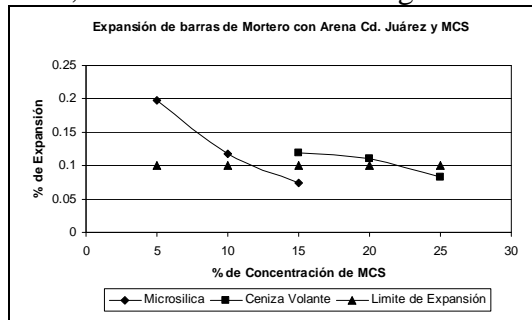


Figura 8. Porcentaje de expansión de barras de mortero con arena de Juárez combinada con MCS.

Con relación a las mezclas de mortero en base a la arena de Chihuahua y los 2 tipos de cemento (Bajo y alto en álcalis), la figura 9 ilustra los porcentajes de expansión de las barras de mortero, de la cual podemos deducir que se encuentran dentro del rango potencialmente reactivo ($0.2\% > E > 0.1\%$), por lo cual se recomienda realizar estudios complementarios (Prueba ASTM C1293) o la combinación con materiales cementantes suplementarios.

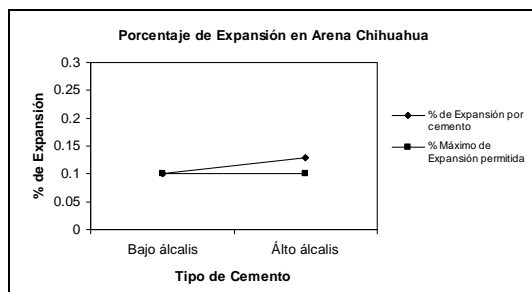


Figura 9. Porcentaje de expansión de barras de mortero con arena de Río Satevó y 2 Tipos de Cemento.

Al combinar la arena de Satevó con microsilica 5% ó ceniza volante 20%, se obtuvieron porcentajes en el rango no reactivo a la RAS, por lo que se recomienda su aplicación a concretos utilizados en la ciudad de Chihuahua.

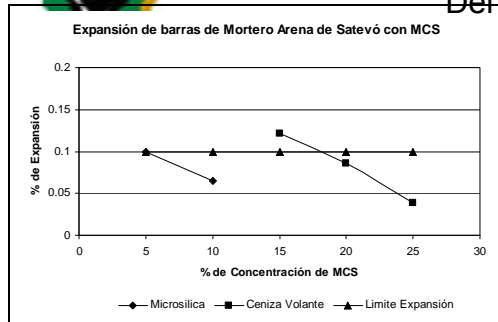


Figura 10. Porcentaje de expansión de barras de mortero con arena Río Satevó combinada con MCS.

En base a los resultados obtenidos de la prueba ASTM C 1260 podemos obtener las siguientes conclusiones:

1. La expansión producida por la RAS utilizando los agregados y cementos de la región de Chihuahua, se encuentra entre 0.15% a 0.25% por lo que se considera dentro de un rango reactivo, se deberán tomar ciertas consideraciones en el diseño o la aplicación de materiales cementantes suplementarios, los cuales ya fue probada su efectividad en inhibir la RAS.
2. En base a esta investigación la mejor opción es la adición de microsilica en el caso de arena Juárez de 15%; en el caso de arena de Río Satevó del 5%, ya que además de inhibir la reacción, disminuye la permeabilidad y aumenta la resistencia del concreto.
3. La adición de ceniza volante clase F para inhibir la RAS, en el caso de arena Juárez deberá ser del 25% y en el caso de arena Río Satevó del 20%,

REFERENCIAS

- [1] N.P. Hasparyk, P.J.M. Monteiro, y H. Carasek. "Electronic microscopy to identify ASR. ACI Journal Materiales, vol. 97, pp. 486-492,(2000) USA..
- [2] C. Olague R. Bojorquez y P. Castro "Application of a methodology for evaluating concrete pavements with durability criteria". International Congress of International Road Federation. (2001) Paris France.
- [3] American Society for Testing and Materials. 1994. ASTM C 1260-94, "Standar test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method)", Annual Book of Standards, vol. 4.02. Construction, pp. 652-655, (1994) Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [4] C. Olague. "Caracterización físico química de agregados para concreto hidráulico", Universidad Autónoma de Chihuahua. Colección de Textos Universitarios, (2003) Chihuahua, México. pp. 75-77, 117-129, 166-177.
- [5] Master Builders Technologies, MBT México. <http://www.mbt-la.com>. "Recomendaciones sobre la aplicación de microsilica rheomac sf 100". (2004) Latinoamérica.