



ING. RAMON POO

B I O G R A F I A

El Ing. Ramón Poo Ulibarri es Ingeniero Químico graduado de la Universidad Iberoamericana. Fue becado por Unesco en L'École Centrale des Arts et Manufactures en París. Actualmente, es jefe del departamento de Ingeniería y presidente del Comité de Normalización de la Cámara del Cemento. Es Consejero del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC).

INHIBICION DE LA REACCION ALCALI-AGREGADO UTILIZANDO PUZOLANAS NATURALES MEXICANAS.

Ramón Poo Ulibarri

RESUMEN

El presente trabajo tiende a generalizar la aplicación de materiales de menor costo.

A través de la utilización de puzolanas y cementos puzolanicos es -- posible evitar la expansión resultante de la reacción ALCALI-AGREGADO.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos de la utilización de varias puzolanas naturales mexicanas mezcladas de diferente contenido, con -- CLINKERS de diferente contenido de ALCALI.

De las tres alternativas presentadas por Lynch para reducir la posibilidad de una reacción expansiva entre los álcalis y los ácidos silíceos, cuando no es posible evitar la reacción expansiva en sí misma, la solución más adecuada es la de utilizar cementos puzolanicos en lugar de los álcalis. Este trabajo presenta los resultados obtenidos de la utilización de varias puzolanas naturales mexicanas mezcladas de diferente contenido, con CLINKERS de diferente contenido de ALCALI.

Después del trabajo anterior desarrollado por este problema, durante una época pasó a un segundo plano, hasta fechas recientes, en que varios factores han vuelto a enfocarlo. Posiblemente uno de los principales es el interés de la industria en mejorar el contenido de álcalis en los cementos portland y paralelamente la creciente dificultad de producir estos cementos con álc...

ANTECEDENTES

Desde que el mal estado de unos pavimentos fue atribuido en 1940 a la expansión resultante por la reacción entre los álcalis del cemento y cierto tipo de agregados, han sido en gran número los estudios que se han dedicado a definir las condiciones de la reacción, su ocurrencia y su prevención.

En 1949, Lerch (1) exponía en un Simposio organizado por ASTM sobre el uso de materiales puzolánicos, que las formas de evitar o minimizar, la expansión anormal o el agrietamiento característico asociado con la reacción álcali-agregado son:

- 1) Seleccionar un agregado no reactivo.
- 2) Utilización de cementos con contenidos restringidos de álcalis.
- 3) El uso de ciertas adiciones puzolánicas probadas.

En el mismo Simposio, Stanton (2) presentó un extenso estudio acerca del "Uso de Puzolanas para contrarrestar la expansión excesiva resultante de la reacción entre los agregados y los álcalis del cemento".

En el mismo año de 1949, Blanks (2) considera como insuficiente protección contra la expansión excesiva debida a la reacción álcali-agregado, el límite de 0.60% de álcalis totales fijado al Cemento Portland y cita el uso de puzolanas en la construcción de la Presa Davis, sobre el Río Colorado; decisión tomada por el Bureau of Reclamation por considerar el empleo de puzolanas como una forma más segura que el empleo de Cemento Portland, con bajo contenido de álcalis, para garantizar la estabilidad del concreto frente a los agregados reactivos de esa zona.

En 1951, Barona de la O (4) publica los resultados de un estudio del cual concluye la posibilidad de utilizar cementos con escoria granulada de alto horno para inhibir la expansión excesiva producida por la reacción álcali-agregado.

De las tres alternativas presentadas por Lerch para enfrentarse a la posibilidad de una reacción expansiva entre los agregados y los álcalis del cemento, cuando no era posible evitar la número 1, y hay que usar agregados potencialmente reactivos, por razones que desconozco, la preferencia en México, ha sido por el empleo de cementos Portland con un contenido de álcalis totales menor de 0.60% como Na_2O . Posiblemente, ocurra la misma situación en algunos otros países.

Después del interés inicial despertado por este problema, durante una época pasó a un segundo plano, hasta fechas recientes, en que varios factores han vuelto a enfocar la atención sobre él. Posiblemente uno de los principales, es el hecho de la tendencia a un mayor contenido de álcalis en los cementos Portland y paralelamente la creciente dificultad a producir estos cementos con álca-

lis por abajo del máximo de 0.60%, debido a que los sistemas de calcinación para producción de clinker se han hecho más eficientes térmicamente, resultando que las temperaturas de los gases de escape del horno han descendido a un nivel tal que los álcalis son condensados en la zona más fría. El equilibrio resultante ocasiona un aumento en el contenido de álcalis del clinker.

Esto origina que, para producir cementos con 0.60% de álcalis totales haya, o bien, que contar con materias primas de muy bajo contenido de álcalis, o bien, la necesidad de extraer un cierto porcentaje de gases a una temperatura tal que los álcalis aún se encuentren en estado de vapor.

Esto acarrea la pérdida de la buscada eficiencia y el aumento consiguiente de los costos de energéticos. Con ciertos tipos de materias primas ni aún de esta manera es posible reducir el contenido de álcalis por abajo del 0.60%.

En países en los que el costo de los energéticos es mayor que en México, ésta ha sido una razón muy importante para buscar soluciones que no impliquen el uso de cementos especiales, cada vez más caros y escasos.

En México, en donde el costo de los energéticos no es aún tan elevado, tenemos el problema que representa la alta inversión necesaria en una Planta de cemento, de la cual, el 75% son divisas que salen del País por importación de maquinaria. El empleo de puzolanas naturales puede ser una solución adecuada tanto al problema de cementos con contenidos crecientes de álcalis, como al de un aprovechamiento más eficiente de los recursos energéticos y económicos.

Intencionalmente las referencias que he presentado datan de bastantes años atrás. El empleo de puzolanas para contrarrestar la reacción álcali-agregado no es una solución nueva. Simplemente es tiempo de generalizar la aplicación de esas soluciones, que, cuando se presentaron, por alguna razón no fueron tan profusamente empleadas.

MATERIALES

En la Tabla I se presentan los análisis químicos de cinco cementos Portland comerciales que fueron utilizados en las pruebas. Fueron seleccionados en forma tal de abarcar el más amplio rango posible en el contenido de álcalis totales, desde 0.15 hasta 1.14% como Na_2O , y en la Tabla aparecen ordenados en valores crecientes de álcalis totales. Debe observarse, sin embargo, que el ordenamiento de los cementos no sería el mismo si se hubieran considerado valores crecientes para los álcalis solubles en agua.

La finura de molienda de todos los cementos es similar y está en el orden de 3,300 cm^2/gr en el permeabilímetro de Blaine.

En la Tabla II aparecen los análisis químicos y las características mi-

neralógicas de cuatro puzolanas naturales las cuales fueron seleccionadas para este estudio buscando que fueran materiales con características muy diferentes en su génesis y mineralogía. Para su utilización se secaron a peso constante a 110°C y se molieron en molino de bolas de Laboratorio hasta dejar un máximo de 5% de residuo sobre el tamiz de 45 μ m.

METODO DE ENSAYE EMPLEADO

Siguiendo el método ASTM-C-441-69: "Efectividad de las adiciones minerales en prevenir la expansión excesiva del concreto debida a la reacción álcali-agregado", se prepararon, conservaron y midieron barras de mortero de 25 x 25 x 258 mm, utilizando vidrio Pyrex molido como agregado reactivo y los diferentes cementos Portland y Puzolanas en proporción en peso de 1:2.25 de (cemento + puzolana)-agregado. Se efectuó la medición de las barras a las 24 horas de moldeadas y posteriormente a las edades de 14, 28, 60, 90, 180 días y uno y dos años.

SERIES DE PRUEBA

En una primera serie se utilizaron los cementos Portland CA y CB junto con la Puzolana PA. Se hicieron barras con los cementos Portland, reemplazando 20% de cemento Portland por Puzolana y como los dos cementos PA y PB se encuentran por abajo del 60% de álcalis totales, o sea, ambos son Cemento Portland de bajo contenido de álcalis, se repitieron las mismas series dos veces, pero agregando en un caso NaOH y en otro KOH en forma tal que el contenido de álcalis (como Na₂O) en la parte de cemento Portland se ajustara a 1.20%. Los resultados de las mediciones en estas seis series se muestran en las gráficas II y III.

Posteriormente se reemplazaron los cementos CA y CB por el cemento CE, el cual tiene un contenido de álcalis totales de 1.14, lo más parecido que fue posible encontrar en un cemento comercial al 1.20 que se produjo en las series anteriores. Utilizando el cemento CD y la Puzolana PA se elaboró una serie de barras en la siguiente forma: cemento CD solo; 85% cemento CD y 15% Puzolana PA; 70% cemento CD y 30% Puzolana PA.

En la tercera serie se utilizaron cementos comerciales con un contenido de álcalis por arriba de 0.60%: los cementos CC, CD y el CE utilizado en la serie anterior; además del cemento CA, de mínimo contenido de álcalis. Las barras que se hicieron fueron: cemento CA solo, como referencia; y un juego de barras en los que se utilizó 70% de diferentes cementos y 30% de la Puzolana PA.

Finalmente se hizo una cuarta serie utilizando únicamente el cemento CD, al 70% y 30% de las Puzolanas PB, PC y PD.

DISCUSION DE RESULTADOS

En la interpretación de los resultados obtenidos nos basaremos en los

criterios expuestos en los métodos ASTM C227, C441 y la especificación C595.

El método C227 indica que una combinación cemento-agregado que presente expansiones mayores que 0.10% a seis meses, usualmente debe considerarse capaz de reactividad perjudicial. Igual consideración para expansiones mayores de 0.05% a 3 meses.

En el método C441 se considera que con cementos de un contenido de álcalis mayor de 0.60% deben esperarse expansiones mayores de 0.02% a 14 días y que, una reducción mínima del 75% en la expansión del cemento sin adiciones, es especificada por el Bureau of Reclamation, como base de aceptación de una Puzolana propuesta para usarse con un cemento alto en álcalis y agregados reactivos.

La especificación C595 exige para la expansión del mortero en Cementos Puzolánicos una expansión máxima de 0.02% a los 14 días y 0.05% a las 8 semanas; esto es usando el método C227 y vidrio Pyrex molido como agregado. Esta misma especificación exige una expansión máxima de 0.05% a 91 días para la puzolana usando el mismo método C227 y proporciones de 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 y 15% en peso de puzolana, utilizando una arena que se haya comprobado no ser reactiva. El objeto de esta parte de la especificación es establecer la estabilidad de la mezcla clinker-puzolana. Esta parte de la especificación fue cumplida perfectamente por las Puzolanas de que aquí se trata, por lo que analizaremos los resultados obtenidos en función de las limitaciones anteriores.

En la gráfica No. 1 se presentan las curvas resultantes de graficar -- las expansiones producidas en las barras elaboradas empleando los cinco cementos Portland. De éstos, los 3 cementos con álcalis por arriba de 0.60% presentan expansiones muy superiores a 0.02% a 14 días, a 0.05% a 90 días y a 0.10% a seis meses. Sin embargo, el cemento CB, con 0.45% de álcalis, sobrepasa también las expansiones tolerables a 3 y seis meses. Puede observarse que en esta serie de pruebas no se obtuvieron aumento en las expansiones después de los seis meses.

En la Gráfica No. 2 se presentan los resultados de las expansiones obtenidas con el cemento de bajo álcali CA, la adición de NaOH ó KOH para obtener 1.20% de álcalis totales y el efecto de substituir 20% de Puzolana en el cemento. La adición de las bases al cemento sólo, determina la aparición de expansiones excesivas desde los 14 días. La adición de 20% de Puzolana disminuye las expansiones con NaOH pero queda todavía por arriba de los máximos permisibles a 3 y 6 meses. En el caso del KOH el comportamiento es ambiguo: se excede a 14 días y 3 meses, pero como no se observa aumento en la expansión después de los 60 días, y queda por abajo del máximo a 6 meses.

En la Gráfica No. 3 se repiten las condiciones de la serie anterior, -- utilizando esta vez el cemento CB. Igualmente la adición de NaOH ó KOH al cemento solo, excede desde los 14 días las expansiones permisibles. La sustitución de 20% de puzolana, mantiene por abajo de los máximos las expansiones a todas -- las edades; cosa similar ocurre al añadir KOH, pero con la adición de NaOH se sobrepasan los máximos tolerables desde los 14 días, aunque la puzolana ha disminuido los valores que se obtuvieron con el cemento Portland solo y la adición de las bases.