



DR. RIYADH S. AL-RAWI

- P.K. and ... A New Process of Rice Husk Utilization, Fourth International Conference of Rice Byproducts Utilization, ...
- 2.- MEHTA, P. K. and ... Energy and Industrial Materials from Crop Residues, ... and Conservation, Vol. 2, pp. 23-38, 1976.
  - 3.- ...  
... en Ciencias en Ingeniería Civil y se graduó con honores de la Universidad de Wales (Cardiff) S.U. en 1963. Estudió maestría en ... en la Universidad de Birmingham, R.U.  
... y se recibió en 1967. Maestría obtenida en la Universidad de ...  
1964 a 1969. Se graduó de la Universidad de New South Wales en Australia.  
... en 1973 donde recibió un título de doctorado en Ingeniería de Caminos (Tecnología del Concreto). Maestro en la Universidad de ...
  - 6.- ...  
... de la Universidad Civil en la Universidad ...  
... desde 1978 hasta ahora.  
... January, 1979.
  - 7.- DAAS, A. ...  
... Rice Husk, Workshop on Production of Cement Like ... Agro-Wastes, Peshawar, Pakistan, January 1979.
  - 8.- DATTA, R. K. and ...  
... Production of Cement Like Materials from Agro-Wastes, ... Pakistan, January 1979.

EFFECTOS DE PUZOLANA EN CONCRETO EXPUESTO A ATAQUES INTERNOS Y EXTERNOS DE SULFATO.

DR. R.S. AL-RAWI Y MR. J.B. SARSAM

RESUMEN

En el medio oriente y muchas partes del mundo, el agregado fino se contamina con sulfatos. Por lo tanto, el concreto, puede estar sujeto a una combinación de ataques internos y externos simultáneamente cuando está en contacto con agua de mar, suelos con alto contenido de sulfatos o aguas subterráneas. Esta investigación, trata los efectos al utilizar puzolana como sustituto parcial del cemento resistente a los sulfatos en el concreto expuesto a tales combinaciones de ataques. Se piensa que ésta es la primera vez que este problema se investiga.

La puzolana utilizada, es del tipo natural sedimentario, local. Los ataques internos fueron producidos con sulfato de calcio el cual se asemeja al tipo de sulfato normalmente presente en la arena natural del Medio Oriente. El ataque externo fue efectuado sumergiendo los especímenes en sulfatos de calcio, sodio y magnesio. El valor del pH se ajustaba continuamente. Los parámetros estudiados fueron: resistencia a la compresión, cambio de longitud y velocidad de pulso ultrasónico (VPU).

Los resultados mostraron que la sustitución parcial de cemento resistente a los sulfatos por puzolana, mejoraron la resistencia del concreto a los ataques del sulfato, especialmente en proporciones pobres con arenas de alto contenido de sulfato. Un aumento del período normal de curado, antes de sumergirlo en sulfatos, dio un efecto benéfico similar. Grandes sustituciones de puzolana con arena con alto contenido de sulfato, resultaron en gran expansión del concreto, similar al cemento expansivo. Sin embargo, estas grandes expansiones no causaron deterioro en los concretos.

ATAQUE INTERNO DEBIDO A LOS SULFATOS

El ataque interno debido a los sulfatos es un fenómeno ya conocido. Cuando el concreto está en contacto con agua de mar, suelos con alto contenido de sulfatos o aguas subterráneas sulfatadas. Para este estudio, el concreto resistente a los sulfatos (tipo V) es el único material usado. Para obtener este

ATAQUE INTERNO DEBIDO A LOS SULFATOS.

Uno de los principales problemas de la arena natural utilizada para fabricar concreto en Iraq, es su contaminación con sulfatos, principalmente, sulfato de calcio (yeso). Un artículo de Fokes y Collis (1, 2) ha mostrado que el mismo problema existe en muchos países del Medio Oriente. Varias normas internacionales (ejemplo: rusas, indias y alemanas) específicamente sobre el límite de sulfatos en agregados, indican que los agregados en estos países pueden estar contaminados con sulfatos.

Es bien conocido que la presencia de sulfatos en arena o en cualquier constituyente del concreto, causará reacción con algunos componentes del cemento, principalmente con el aluminato tricálcico (C3A). Cada una de las reacciones está asociada con un incremento considerable en el volumen de sólidos. Esto puede ser perjudicial a la estructura del concreto debido a los grandes esfuerzos inducidos.

Este efecto perjudicial, está demostrado por una gran reducción en la resistencia a la compresión, la cual es aparente a edades tempranas (3 días). Esta reducción aumentará con la edad si el contenido de sulfatos es alto, pero será minimizada mediante una recuperación autógena, si el contenido de sulfatos es bajo como en este caso, si reacciona dentro de un corto período después de colado el concreto.

El contenido máximo de SO3 en agregados gruesos o finos permitido por varias normas, varía considerablemente y fluctúa de 0.4% a 1.0% respecto al peso del agregado. Ningún intento previo se ha hecho para explicar las razones de esta gran variación.

En un estudio reciente (3) se ha mostrado que es más apropiado especificar el contenido total de SO3 en el concreto, como un porcentaje respecto del peso del cemento en lugar del contenido de SO3 respecto al peso del agregado. Este punto se ha ignorado en muchas especificaciones y puede ser una razón de las grandes diferencias entre varias normas. Más aún, hay muchos otros factores que afectan al contenido máximo permitido de SO3 en el concreto. Esto incluye el contenido de C3A, el contenido de álcalis y la fineza del cemento como lo ha indicado Lerch (4). Se ha mostrado que el contenido máximo permitido de SO3 en el concreto, depende también del contenido de cloro (5), temperatura de curado y tiempo de curado del concreto (6). Se ha propuesto aquí que otros factores son importantes a este respecto como son: la cal libre (no-combinada), el MgO del cemento y el tamaño de las partículas de yeso.

Cuando el concreto está sujeto solamente a ataques internos, generalmente se usa el cemento Portland normal (tipo I). El concreto hecho con cemento resistente a los sulfatos (tipo V) también podría estar sujeto al ataque de sulfatos internos, en este caso los factores máximos permisibles de contenido de SO3 que afectan al concreto son los mismos anteriormente mencionados.

ATAQUE EXTERNO DEBIDO A LOS SULFATOS.

El ataque externo debido a los sulfatos es un fenómeno ya conocido. — Ocurre cuando el concreto está en contacto con agua de mar, suelos con alto contenido de sulfatos o aguas subterráneas sulfatadas. Para este concreto, el cemento resistente a los sulfatos (tipo V) es el más comúnmente usado. Para ataques más

EFFECTS OF SULFATE IN CONCRETE EXPOSED TO MARINE INTERIOR AND EXTERNAL SULFATE.

DR. R.S. AL-RAMI AND MR. J.B. SARKIS

RESUMEN

En el medio oriente y zonas cercanas, el concreto que se utiliza para la construcción de edificios y otras estructuras, está contaminado con sulfatos, principalmente sulfato de calcio (yeso). Un artículo de Fokes y Collis (1, 2) ha mostrado que el mismo problema existe en muchos países del Medio Oriente. Varias normas internacionales (ejemplo: rusas, indias y alemanas) específicamente sobre el límite de sulfatos en agregados, indican que los agregados en estos países pueden estar contaminados con sulfatos.

Es bien conocido que la presencia de sulfatos en arena o en cualquier constituyente del concreto, causará reacción con algunos componentes del cemento, principalmente con el aluminato tricálcico (C3A). Cada una de las reacciones está asociada con un incremento considerable en el volumen de sólidos. Esto puede ser perjudicial a la estructura del concreto debido a los grandes esfuerzos inducidos.

Este efecto perjudicial, está demostrado por una gran reducción en la resistencia a la compresión, la cual es aparente a edades tempranas (3 días). Esta reducción aumentará con la edad si el contenido de sulfatos es alto, pero será minimizada mediante una recuperación autógena, si el contenido de sulfatos es bajo como en este caso, si reacciona dentro de un corto período después de colado el concreto.

severos, el cemento de alta alúmina es el que se utiliza. El mecanismo de este tipo de ataque debido a los sulfatos, es similar al ataque interno, pero su proporción es mucho más lenta y toma mucho más tiempo para que aparezcan los efectos perjudiciales. Los sulfatos en este caso no desaparecerán y el cemento resistente a los sulfatos se utiliza para evitar grandes esfuerzos y posible destrucción del concreto a edades posteriores.

En este cemento se reduce el C3A y en menor grado el C4AF. Esto reducirá la velocidad en que se combinan los sulfatos, más aún, lo que generalmente se especifica es un concreto de alta resistencia. Habrá una baja permeabilidad, la cual decrecerá con el tiempo según progrese la hidratación. Bajo estas condiciones los sulfatos se introducen al concreto, se degradan y su velocidad de combinación es subsecuentemente reducida a un nivel más bajo que el necesario, para el desarrollo de grandes esfuerzos y destrucción del concreto.

#### COMBINACION DE ATAQUES EXTERNOS E INTERNOS DEBIDO A LOS SULFATOS.

El problema del concreto sujeto a ataques externos e internos simultáneamente, no ha recibido atención en el pasado.

Se ha demostrado (3), que el ataque interno debido a los sulfatos ocurre en el concreto hecho con cemento resistente a los sulfatos. Se obtuvo gran reducción en la resistencia a la compresión y una expansión excesiva, cuando se utilizó arena contaminada con alto contenido de sulfato.

Las discrepancias en los resultados obtenidos por varios investigadores, que estudiaron el problema del ataque externo debido a los sulfatos, puede ser en parte por ignorar el efecto del ataque interno. Un área donde tal discrepancia es obvia, es el efecto de la sustitución por puzolana en concreto resistente a los sulfatos, fabricado con cemento resistente a los sulfatos. Kalousek, Porter y Benton (7), encontraron que la sustitución parcial de puzolana, del cemento resistente a los sulfatos, es muy efectiva haciendo al concreto resistente a estos ataques. Polvica y Brown (8) encontraron que la sustitución parcial de puzolana en el cemento de muy bajo contenido de C3A (Ejemplo: Cemento exento de Alúmina), no produjo mejoras en la resistencia a los sulfatos. Zwaze (9) argumentó que la sustitución parcial del cemento de bajo contenido en C3A con puzolana, hace que su comportamiento bajo la acción del sulfato, sea progresivamente desfavorable con el tiempo.

En el presente trabajo fueron investigados los efectos del uso de las puzolanas como sustituto parcial del cemento resistente a los sulfatos en el concreto sujeto a ataque externo e interno.

#### TRABAJO EXPERIMENTAL.

Se utilizó una puzolana local de tipo natural y sedimentaria. Su composición química y la del cemento resistente a los sulfatos están dados en las tablas 1 y 2 respectivamente. El 20% y 40% en peso del cemento se sustituyó con puzolana.

Desde el punto de vista económico, esta operación tiene la ventaja de reducir el costo del concreto.

Se fabricaron cubos y prismas de concreto utilizando arena contaminada con yeso cuyo contenido de sulfatos variaba desde 0.2% a 2.2%, lo cual representa el rango del contenido de sulfatos en las arenas de Irak. El ataque externo se efectuó mediante la inmersión de los especímenes en recipientes que contenían sulfato de magnesio separadamente. La concentración fue de 1.7% excepto para el sulfato de calcio cuyo valor de 0.2% causó saturación. Este contenido representa la más alta concentración de sulfatos registrada en las aguas subterráneas de Irak. Según Higginson y Glanty (10), el 1.7% de  $MgSO_4$  pudiera ser solamente un 10% menos destructivo que el 5% de  $MgSO_4$ . El pH de las soluciones lo midió un potenciómetro y se mantuvo constante durante el estudio, añadiendo ácido sulfúrico para balancear el aumento del valor del pH causado por la liberación de cal. Esto pudiera asemejar las condiciones de campo, donde el valor del pH permanece más o menos constante. Agregar ácido sulfúrico, resulta en un suave incremento en la concentración de sulfatos en los casos de  $MgSO_4$  y  $Na_2SO_4$ .

Está reconocido que el promedio de ataque externo debido a los sulfatos, es muy lento y toma mucho tiempo para mostrar sus efectos sobre las propiedades del concreto. Para acelerar el proceso de ataque externo, se hicieron los siguientes pasos:

- 1.- Se utilizaron cubos y prismas pequeños (10 x 10 x 10 y 10 x 10 x 25 cm. respectivamente). Las soluciones de sulfato pueden penetrar estas secciones más rápidamente que con las secciones usuales de concreto.
- 2.- Utilizando una concentración relativa alta de sulfatos.
- 3.- Ajustando el valor del pH el cual promueve la remoción de la cal resultando un incremento en la permeabilidad.
- 4.- Utilizando arena contaminada con sulfatos, la cual produce un ataque interno y algunas grietas que facilitan la penetración del ataque externo.
- 5.- Curado durante un corto período en agua fresca (7 días) previa inmersión en soluciones de sulfato. A esta edad la permeabilidad del concreto es aún relativamente alta.
- 6.- Utilizando mezclas de concreto de mediana resistencia 1:6 cemento: agregado, así como mezclas de alta resistencia 1:4.5. Las mezclas tienen una permeabilidad relativa alta.

La temperatura de curado fue controlada a 25°C, la cual es considerada como baja para el medio ambiente irakí. Es probablemente similar a la de México. A bajas temperaturas el ataque interno, debido a los sulfatos es más efectivo. Se ha visto que a altas temperaturas de curado, el contenido óptimo de yeso es alto (6).

Los parámetros involucrados fueron: Resistencia a la compresión, cambio de longitud y velocidad de pulso ultrasónico.

#### RESULTADOS Y COMENTARIOS.

Las figuras 1 y 2 muestran que el contenido de sulfatos de la arena utilizada tiene un efecto significativo sobre la resistencia a la compresión, a edades tempranas (7 y 28 días) la resistencia a la compresión en general, decrece con el aumento en el contenido de sulfatos. A edades posteriores, parece ser que