

hay un contenido óptimo de sulfatos que da unas máximas resistencias a compresión. Este contenido óptimo es más pronunciado para cementos que no están sustituidos con puzolana que para los cementos con una sustitución parcial.

El efecto del alto contenido interno de sulfatos, sobre la resistencia a la compresión, es significativo para todas las edades para cementos sin sustitución de puzolanas, especialmente para mezclas de resistencia media. Para cementos con 20% y 40% de puzolana, el efecto del ataque debido a los sulfatos sobre la resistencia a la compresión, parece disminuir con la edad aun para arenas con alto contenido de sulfatos. Como resultado, la resistencia a la compresión del concreto con 20% de puzolana en el cemento iguala o excede al concreto con cemento que no está sustituido con puzolana.

Esto demuestra que la sustitución con puzolana mejora significativamente la resistencia del concreto al ataque de los sulfatos. Lo anteriormente dicho, es aplicable a los tres tipos de ataque debido a los sulfatos. Varias teorías han sido presentadas en el pasado respecto al efecto de la sustitución con puzolanas sobre la resistencia del concreto al ataque de sulfatos. Esto incluye la combinación de cal liberada, reducción en la permeabilidad y dilución de C3A en cemento con alto contenido de C3A. Debido a los ataques internos y externos combinados de los sulfatos, se propuso mejorar la resistencia del concreto sustituyendo el cemento en forma parcial con puzolana.

Se puede ver en las figuras 3, 4 y 5 que para los cementos sin puzolana y arena con un contenido de 2.2% de SO₃, la expansión continúa después de los 250 días. Para cementos con un 20% de puzolana, la expansión también continúa después de 250 días pero ésta es menor entre los 90 y 250 días comparada con la expansión a edades tempranas. Para cementos con un 40% de puzolana, no hay expansiones entre los 90 y 250 días.

Examinando la composición química de la puzolana utilizada, indica que el contenido de alúmina es de un 14%, el cual es considerablemente más alto -- que el del cemento utilizado. Esta alúmina cuando está libre de su combinación -- con sílica, reaccionará con la cal hidratada para formar C3A hidratado, luego este compuesto se combinará con el yeso causando una reacción completa o casi completa con los sulfatos internos a una edad relativamente corta. Después de eso, ocurrirá una recuperación autógena resultando en una mejoría en la resistencia a la compresión. Para cementos sin puzolana, parece que el ataque interno es continuo, lo cual, combinado a los ataques externos, causa grandes esfuerzos y daños a la estructura del concreto, resultando una baja resistencia a la compresión.

El incremento en hidratos de C3A no presenta una conducta similar a la del cemento Portland normal (tipo I), debido a que en este caso una gran expansión puede ocurrir sin agrietamiento, posiblemente debido a un gran flujo. Se sabe que la puzolana incrementa el flujo del concreto si se usa como sustituto parcial del cemento (11).

Puede verse que para 40% de puzolana como sustituto del cemento y 2.2% de SO₃ en arena, se obtuvieron grandes expansiones, sin pérdida significativa en la resistencia a la compresión, mientras que una expansión mucho menor en concreto sin puzolana corresponde a una gran reducción en la resistencia a la compresión. Puede concluirse por ello, que el criterio adoptado por Kalousek, Porter y Benton, para fallas en el concreto (0.5% de Expansión) ya sea concreto puzolánico o no puzolánico, no es aplicable al presente caso. Es obvio que la expansión no puede ser relacionada con la alteración de la estructura del concreto en la misma forma,

References

- 1.- Fookes, P.G. and Collis, L. " Problems in the Middle East." Concrete,-- Vol. 9 No. 7 July 1975 6 PP.
- 2.- Fookes, P.G. and Collis, L. " Cracking and the Middle East." Concrete-- Vol. 10 No. 2 Feb. 1976 6 PP.
- 3.- Yosif, S.H. " Effect of sulfates on lean and Medium Richness Concrete." M. Sc. Thesis, Baghdad University, Jan 1980 104 PP.
- 4.- Lerch, W. " The Influence of Gypsum and Properties of Portland Cement." ASTM Proceedings, Vol. 46, 1946 PP. 1252-1292.
- 5.- Lea, F.M. The Chemistry of Cement and Concrete, Third Edition, Edward - Arnold 1970. PP. 605.
- 6.- Al-Rawi, R.S. " Gypsum Content of Cement Used in Concrete Cured by Accelerated Methods, ASTM Journal of Testing and Evaluation, Vol. 5 No. 3 -- 1977. PP. 231-237.
- 7.- Kalousek, G.L. Porter, L.C. and Benton, E.S. " Concrete for Long Time - Service in sulfate Environment. " Cement and Concrete Research, Vol. 2 - No. 1 1972. PP. 79-89.
- 8.- Polivka M. and Brown E.H. " Influence of various Factors on sulfate Resistance of Concrete Containing Puzolan. " ASTM Proceedings, Vol. 58, - 1958, PP. 1077-1098.
- 9.- Swayze, M.A. Discussion of above paper ASTM Proceedings, Vol. 58, 1958- PP. 1099-1100.
- 10.- Higgins, E.C. and Glanty, O.S. " The Significance of sulfate Resistance of Concrete." ASTM Proceedings, Vol. 53, PP. 1002-1020.
- 11.- Orchard, D.F. Concrete Technology, Vol. 1 Third Edition. PP. 345-346.

para un concreto con puzolana, que para otro sin puzolana.

La gran expansión asociada con el cemento sustituido en forma parcial con puzolana y el alto contenido interno de sulfatos, parece asemejarse al cemento expansivo con la puzolana actuando como un estabilizador. Uno de los principales problemas del cemento expansivo es la relativa gran contracción por secado.

Experimentos preliminares han mostrado que un concreto expandido secado durante un mes no causará una contracción significativa. Se requiere más investigación para estudiar la posibilidad de que su comportamiento sea como el de un cemento expansivo.

RESULTADOS DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO.

El uso de la velocidad de pulso ultrasónico como parámetro, es conveniente debido a que es un ensaye no-destructivo.

Los mismos especímenes fueron ensayados a todas las edades, eliminando los errores de variación de la misma revoltura que normalmente existen en los ensayes destructivos y reduciendo el número de especímenes requerido para un experimento dado. Estas ventajas hacen aparecer a la VPU ideal para la investigación concerniente al ataque de sulfatos en el concreto. Esto sin embargo no demuestra ser correcto.

Al comparar las figuras 6 y 7, nos muestran que el desarrollo de la VPU no se asemeja al de resistencia a la compresión, especialmente el que tiene como sustituto un 40% de puzolana con una arena cuyo contenido de SO₃ es de 2.2%. La razón parece ser lo inadecuado de la técnica de la VPU por la diferencia clara entre la expansión que causa destrucción en la estructura del concreto y la expansión que no está asociada con la destrucción de la estructura.

Puede concluirse con esto, que ni la expansión ni la VPU pueden utilizarse como un sustituto a la resistencia a la compresión para la investigación de los efectos del ataque debido a los sulfatos sobre concreto con cemento puzolánico.

TABLA DE TITULOS

TABLA 1.- Composición Química de la Puzolana

TABLA 2.- Composición Química del Cemento

TITULOS DE LAS FIGURAS

- Figura 1.- Efecto del contenido de sulfato sobre el esfuerzo de compresión del concreto (1:6) a diferentes edades.
- Figura 2.- Efecto del contenido de sulfato sobre el esfuerzo de compresión del concreto (1:6) a diferentes edades.
- Figura 3.- Efecto del contenido de sulfato en el cambio en longitud de concreto sin puzolanas.
- Figura 4.- Efecto del contenido de sulfato en el cambio en longitud de concreto con 20% de puzolana.
- Figura 5.- Efecto del contenido de sulfato en el cambio en longitud de concreto con 40% de puzolana.
- Figura 6.- Efecto de la edad sobre el esfuerzo de compresión del concreto con diferentes contenidos de sulfato.
- Figura 7.- Efecto de la edad VPU de concreto con diferente contenido de sulfatos.

TABLA 1.- Composición Química de la Puzolana

Oxido	Porcentage
SiO ₂	57.4
Al ₂ O ₃	14.0
Fe ₂ O ₃	1.6
CaO	8.7
MgO	3.4
SO ₃	0.1
Pérdida por Ignición.	12.3

TABLA 2.- Composición Química del Cemento

Oxido	Porcentage	Componente	Porcentage
SiO ₂	22.00	C ₃ S	49.1
Al ₂ O ₃	3.74	C ₂ S	26.2
Fe ₂ O ₃	5.20	C ₃ A	1.1
CaO	62.55	C ₄ AF	15.8
MgO	1.72		
SO ₃	1.99		
Pérdida por Ignición.	1.16		
Alcalis Totales. (Como Na ₂ O)	0.86		
Cal Libre	1.17		