

En la primera serie se consideró a la ceniza volante como sustituto parcial de la arena; es decir, se empleó como aditivo manteniendo constante el consumo de cemento y sustituyendo cantidades de arena por ceniza, equivalentes en volumen al 15, 25 y 40 por ciento del peso de cemento empleado. Con estos ensayos se trató de saber si el empleo de la ceniza volante causa una reducción en la resistencia del concreto, al requerirse mayores consumos de agua para conservar la misma consistencia de la mezcla.

La segunda serie tuvo como objeto encontrar el porcentaje de cemento que se puede sustituir por ceniza volante, sin que se afecte la resistencia a compresión del concreto. Las cantidades de cemento sustituidas por ceniza fueron 20, 30 y 40 kg/m³ de concreto. En todos los casos la cantidad de ceniza agregada, en peso, fue 1.5 veces el peso del cemento remplazado.

5.1 Materiales componentes

En la fabricación de los concretos con ceniza volante, se empleó un cemento Portland tipo I, se usó una ceniza volante molida a mayor finura (24% de retenido en malla de 45µm) de como se recibió de la planta de Nava. Como agregado se empleó arena y grava andesítica de 19 mm (3/4") de tamaño máximo.

5.2 Fabricación y curado

Los concretos alcanzaron un revenimiento comprendido entre 9.5 y 14 cm, por lo que la compactación se pudo efectuar por medio de varillado. Los especímenes de ensayos, cilindros de 15 x 30 cm, se llenaron en tres capas y se compactaron con 25 penetraciones de la barra estándar por cada capa.

El curado aplicado a estos concretos fue estándar, es decir, a una humedad y temperatura controladas de 100 por ciento y 23 ± 2°C, respectivamente. Este curado se aplicó en forma continua hasta la edad de ensaye.

5.3 Propiedades mecánicas

5.3.1 Resistencia a compresión

a) Ceniza como aditivo

Los resultados de la primera parte de ensayos, tabla 6 y fig 1, indicaron que la adición de una cantidad de ceniza igual a 15 por ciento del peso del cemento (45 kg/m³) incrementa la resistencia a compresión en 3, 13 y 16 por ciento en relación con la resistencia alcanzada por la muestra testigo a la edad de 7, 28 y 56 días, respectivamente. Con 25% de ceniza (75 kg/m³) se alcanzó prácticamente la misma resistencia que la obtenida por las mezclas de control a las edades de 28 y 56 días, en tanto que a los 7 días de edad solo alcanzó 78 por ciento de la resistencia de la mezcla testigo. Con 40 por ciento de ceniza con respecto al peso del cemento (120 kg/m³), se alcanzaron a todas las edades resistencias inferiores, entre 68 y 88% de las del testigo correspondiente.

De lo anterior se puede concluir que en los concretos con un contenido de cemento de 300 kg/m³, la adición de ceniza hasta en 25 por ciento del peso de cemento, no reduce la resistencia del concreto a 28 días de edad, y que con la adición de 15 por ciento de ceniza se pueden alcanzar incrementos de resistencia del orden de 13 por ciento.

Los incrementos de resistencias de 28 a 56 días de edad resultaron -- similares en las mezclas testigo y en las fabricadas con consumos de cenizas de hasta 25 por ciento del peso de cemento; variaron entre 17 y 20%.

A los 7 días de edad se alcanzaron resistencias a compresión en las mezclas con ceniza del orden de 70 por ciento de la obtenida a 28 días, en tanto que la mezcla testigo tuvo una resistencia igual a 86 por ciento de la alcanzada a los 28 días.

Las observaciones anteriores hacen evidentes que las cenizas volantes pueden tener una acción efectiva en cuanto a resistencias a compresión a edades prolongadas y que a edades cortas por lo general causan una reducción en la resistencia.

b) Ceniza como cementante

Las pruebas testigos se realizaron en mezclas con dosificaciones de cemento de 200, 250 y 300 kg/m³. En cada una de ellas se sustituyeron 20, 30 y 40 kg/m³ de ceniza respectivamente. Los resultados se muestran en la tabla 7 y en las fig. 2 a 4. Se aprecia que, como era de esperarse las resistencias de los concretos con cenizas fueron inferiores a las de las mezclas de control; -- las diferencias fueron mayores cuando mayor fue la cantidad de cemento sustituida y mientras mayor porcentaje representara de la cantidad total de cemento en la mezcla. Las diferencias fueron disminuyendo a medida que avanzaba la edad del ensaye. Excepto dos (mezclas 12 y 14) todas las muestras de concretos con cenizas alcanzaron antes de los 56 días la resistencia que tuvo a 28 días la muestra testigo sin ceniza. La resistencia a los 28 días de las mezclas con ceniza en ningún caso fue inferior a 80% de la resistencia de la mezcla testigo.

Lo anterior permite concluir que es factible la sustitución de cemento con las cenizas estudiadas, sin que se afecte la resistencia a largo plazo y con una ligera reducción de la resistencia inicial.

CONCLUSIONES

Con base en los ensayos realizados en las cenizas estudiadas se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Las características físicas y químicas determinadas en las muestras de las cenizas volantes producidas por la planta termoeléctrica de Nava indican que -- estas resultan adecuadas para la producción de cemento Portland puzolánico.

2. Cenizas de la planta de Nava presentaron una baja actividad puzolánica. -- Con objeto de mejorarla, resultará particularmente importante, en las instalaciones de Río Escondido, la separación de las cenizas volantes y su protección de la humedad en silos u otros depósitos similares.
3. Los cementos puzolánicos, obtenidos de la mezcla de cemento Portland tipo I y ceniza volante, presentaron buen comportamiento en cuanto a resistencia mecánica cuando se emplearon consumos de ceniza de 15 y 25 por ciento del peso del cemento.
4. La adición de ceniza al cemento Portland utilizado en las pruebas, aumentó ligeramente el tiempo de fraguado y la expansión en autoclave, en comparación con los valores alcanzados en el mortero testigo de cemento Portland, conservándose los valores observados dentro de los límites establecidos como adecuados por la ASTM. La contracción por secado resultó del mismo orden en los morteros con y sin ceniza volante e inferior al valor máximo especificado como aceptable.
5. El empleo de ceniza volante en la fabricación de cemento Portland puzolánico redujo en forma importante el calor de hidratación a edades tempranas, en comparación con el valor alcanzado para el cemento Portland utilizado. A la edad de 28 días la reducción del calor de hidratación fue menor.
6. El uso de la ceniza volante en la fabricación de cementos puzolánicos resultó particularmente efectivo para inhibir la reacción álcali-agregado, cuando se emplea con cementos Portland con alto contenido de álcalis.
7. Las pruebas preliminares efectuadas con las cenizas de la planta de Nava -- para desarrollar materiales sílico-calcáreos indicaron que la resistencia a --- compresión está en función directa de los consumos de cal empleados, y que el material obtenido se puede emplear en un gran número de aplicaciones con y sin fines estructurales de acuerdo con la resistencia alcanzada.
8. El empleo de la ceniza volante como aditivo en las mezclas de concreto produjo un incremento en la resistencia a compresión inferior al obtenido en las mezclas de mortero. A la edad de 28 días los concretos con consumos de ceniza de hasta 25 por ciento del peso del cemento, presentaron mayor resistencia mecánica que la de la muestra testigo.
9. La sustitución en el concreto de parte del cemento por ceniza, con una relación en peso de ceniza a cemento sustituido igual a 1.5, no permitió alcanzar resistencias a compresión a la edad de 28 días, similares a las de las mezclas testigo. Las mezclas con ceniza alcanzaron la resistencia a compresión de la mezcla testigo a una edad de aproximadamente 2 meses. El máximo porcentaje de cemento sustituido fue de 30 por ciento del peso del cemento de la muestra testigo.

RECONOCIMIENTOS

El autor quiere hacer patente su agradecimiento al Dr. David Euresti, al Ing. Manuel Mena Ferrer y al Ing. Ausencio Aguilar, de la C.F.E. por la colaboración recibida de ellos durante el desarrollo de este trabajo; a Alberto --- Fuentes por la supervisión de pruebas físicas y a Roberto Meli y Jorge Prince -- por la revisión del trabajo; a las Dras. Yolanda Pliego y Margarita Portilla de la Facultad de Química, UNAM, por la realización de los ensayos químicos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASTM C618 "Standard Specification for Fly Ash Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", 1977.
- 2.- ASTM C311 "Standard Methods of Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", 1977.
- 3.- AS 1129 "Fly Ash for Use in Concrete" Australian Standards, 1971.
- 4.- AS 1130 "Code of Practice for Use of Fly Ash in Concrete", Australian Standards, 1971.
- 5.- ONORM B 3319 "Fly Ash as Hydraulic Powdered Admixture Component for Cement Manufacture", Austria, 1962.
- 6.- IS 3812 Part I "Fly Ash for Use as Pozzolan", Part II "Fly Ash for Use as Fine Aggregate for Mortar and Concrete", India, 1966.
- 7.- TS 639 "Fly Ashes for Use with Portland Cement Clinker and Portland Cement Concrete", Turkey, 1968.
- 8.- JIS A 6201 "Fly Ash", Japan, 1967.
- 9.- BS 3892 "Pulverised-fuel Ash for Use in Concrete" United Kingdom, 1965
- 10.- GOST 6269 "Binder Active Mineral Additives", URSS, 1963.
- 11.- Smith M. A. "Review of Standard Specifications for Fly Ash for Use in Concrete", Building Research Establishment, CP 8/75, Garston, 1975.
- 12.- ASTM C595 "Standard Specification for Blended Hydraulic Cement", Part 13, 1977, American Concrete Institute, Vol. 33, 1937 pp 577-612.
- 13.- David R. E., et al "Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash", American Concrete Institute, Vol. 33, 1937, pp 577-612.
- 14.- Kokubu, M. "Fly Ash and Fly Ash Cement", Proc. 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, Vol. IV, pp 75-113, Cement Association of Japan, Tokyo, 1969.
- 15.- Mielenz, R. C. "Specifications and Methods of Using Fly Ash in Portland Cement Concrete", Proc. Third International Ash Utilization Symposium, Pittsburgh 1973.
- 16.- CRD-C242-63 "Specifications for Pozzolan for Use in Portland-Cement Concrete", Corps of Engineers US Army, 1963.
- 17.- US General Services Administration", Pozzolan (for use in Portland Cement Concrete)", Federal Specification SS-P-570B, 1969.
- 18.- Abdun-Nur, E.A. "Fly-ash Concrete -An Evaluation" Highway Research Board, Bulletin 284, Washington, D.C., 1961.
- 19.- Lea, F. M. "The Testing of Pozzolan Cements", Cement Technology, Vol. 4, No. 1, 1973, pp 21-25
- 20.- Neville, A. M. "Properties of Concrete", John Wiley and Sons, Inc. Nueva York.
- 21.- Lovewell, C. E. and Hyland, E. J. "Effects of Combining Two or More Admixtures in Concrete" Highway Research Record 370.
- 22.- Lovewell, C. E. and Washa, G. W. "Proportioning Concrete Mixtures Using Fly Ash", Journal of the A.C.I., Vol. 29, No. 12, 1958.
- 23.- Lovewell, C. E. "Mix Design Techniques for Equivalent Concrete Mixes Using Type I Portland Cement Alone, Type I Cement plus Fly Ash and Type IP, Portland Pozzolan Cement Alone, Respectively as Cementing Media".
- 24.- McFadden, J. E. "Technology and Utilization of Power Plant Ash", West Virginia University, Morgantown, West Virginia, 1977.
- 25.- Department of Transportation "Fly Ash, a Highway Construction Material" Federal Highway Administration, Office of Research and Development, Implementation Division, 1976.
- 26.- Seals, R.K., Moulton, L.K. and Kinder, D.L. "In Situ Testing of a Compacted Fly Ash Fill", ASCE, Geotechnical Engineering Speciality Conference, Jun 13-15, 1977, Ann Arbor.
- 27.- "Ash at Work Process and Technical Data" Highway and Construction Uses of Power Plant Ash in the United Kingdom, May-October, 1975.
- 28.- "How Fly Ash Improves Concrete Block Mix Concrete Pipe", Concrete Industries Year Book, 1974-1975.
- 29.- Schringer, G.R. and Zaltzman, R. "Use of Bottom Ash as Medium for the Construction of a Septic Tank Effluent Disposal System" Short Course on Technology and Utilization of Power Plant Ash.
- 30.- Mena, M. "Concreto sílico-calcáreo para prefabricados estructurales", Instituto de Ingeniería, Informe No. 410, México, D. F. 1978.
- 31.- E. G. Barber, et al "PFA utilization", Central Electricity Generating Board.

Centra C	Centra T	Muestra 3 1975-1978	Muestra 2 1973-1974	Muestra 1 1969-1970	E N S A Y E (centra sin water)
3700 min	3700 min	3383	3234	3484	Permeabilidad al aire cm ² /seg