



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



**PROPIEDADES MECÁNICAS DE CONCRETOS MODIFICADOS CON
CENIZA VOLANTE, MICROSÍLICE Y ESCORIA DE ALTO HORNO**

E.E. Maldonado-Bandala^{1*}, F.A. Almeraya², C. Gaona², M.A. Baltazar³,

1 Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Mérida. Departamento de Física Aplicada. Km. 6
Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73, Cordemex, 97310, Mérida, Yuc., México

2 Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) Departamento de Física de Materiales/ Grupo
Corrosión Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua Chihuahua, Chih. México

3 Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana. Zona Universitaria, Xalapa Veracruz, México.

* emaldonado@mda.cinvestav.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se describen las ventajas de usar ceniza volante (CV), microsíllice (MS) y escoria granulada de alto horno (EH) como sustituto parcial de cemento Portland (CP). La sustitución parcial por materiales puzolánicos y cementantes elevan las resistencias mecánicas por las reacciones de hidratación que se generan con la adición de sílice amorfo. En el desarrollo experimental se diseñaron 11 mezclas en las que se sustituyó el CP hasta un 20% con respecto a su peso con la combinación de dos de los tres materiales mencionados anteriormente. Se curaron los especímenes en membrana plástica durante 28 y 90 días, al término de estos periodos se les realizó la prueba de resistencia a la compresión simple, en donde se observó que la mezcla que mejor comportamiento presentó fue la que contenía 10%CV+5%MS+85%CP, desarrollando resistencias mayores a una mezcla control con 100%CP a los dos periodos de tiempo de ensayo.

Palabras claves: Resistencia mecánica, resistencia a la compresión, materiales puzolánicos, materiales cementantes..



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en los países más industrializados surge cierta preocupación respecto de las emisiones de CO₂. La fabricación de clinker Portland componente principal del cemento Portland implica una transformación química de materias primas en un horno a elevadas temperaturas. Este proceso genera importantes cantidades de CO₂. Por otra parte a la fabricación del cemento Portland se le atribuye el 40% del consumo de energía, penalizando el proceso con unos costes muy elevados [1]. La repercusión en el entorno ambiental resulta negativa, a consecuencia del consumo importante de materias primas y combustibles, y de la elevada emisión de gases de efecto invernadero, hasta el punto de que se atribuyen a la industria cementera un 6-7% del total de dichas emisiones [2,3].

La generación de subproductos industriales CV, MS y EH, es en la actualidad uno de los problemas mas acuciantes, por lo que su gestión, reciclado y aprovechamiento constituyen el principal reto a resolver por los países productores.

Una de las posibilidades de aprovechamiento de estos residuos industriales, es su incorporación a los materiales de construcción y concretamente al cemento como aditivos, dando lugar a un nuevo tipo de cemento denominado “cemento compuesto” [4], o “cemento de adición” [5].

Las ventajas de este tipo de cemento incluyen, además del aumento de las prestaciones tecnológicas del material acabado, razones de carácter económico [6], por el remplazo en porciones significativas de cemento se produce un abaratamiento del costo de producción [7,8] al reducir importantes cantidades del clinker puro de cemento por la adición del subproducto industrial y, razones de tipo ecológico por los graves problemas que el almacenamiento de dichos productos originan en el entorno medio-ambiental.

Haciendo referencia a la adición de aditivos , en ésta investigación se propone el uso de materiales que son resultado de desecho industrial, como son: ceniza volante (CV), humo de sílice (MS) y escoria de alto horno (EH) para elevar resistencias mecánicas añadiéndolos al concreto fresco, pero solo se han hecho combinaciones binarias haciendo uso sólo un aditivo sólido de los antes mencionados con la mezcla del cemento [9], pero aún no se han realizado estudios detallados en los que se presenten mezclas ternarias que sean económica y técnicamente factibles para su uso en la industria de la construcción.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se realizó un estudio de los materiales de partida mediante análisis de área superficial por el método BET, se realizó mediante un equipo Nova 1000 Quantachrome Instrument, tamaño de partícula por granulometría láser, empleando un analizador de tamaño de partículas Mastersizer 2000, cuyo rango de operación está comprendido entre 0,3 µm y 300 µm. Su funcionamiento basado en la teoría completa de difracción de Mie y Franhofer.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



Se realizaron 11 mezclas diferentes, en las que se sustituyó del 15% al 20% del peso de cemento Portland ordinario (CPC) calculado en la dosificación para la mezcla de concreto, por la combinación de dos aditivos minerales: ceniza volante (CV), microsílíce (MS), escoria granulada de alto horno (EH), como se muestra en la Tabla 3.7, de ésta manera, se crean lo que se denomina mezclas ternarias, por contener la combinación de tres ingredientes de reacción, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Nomenclatura y composición de las mezclas de prueba.

<i>Mezcla</i>	<i>Ceniza Volante (CV) %</i>	<i>Escoria granulada de alto Horno (EH) %</i>	<i>Microsílíce (MS) %</i>	<i>Cemento Portland ordinario (CPO) %</i>	<i>NOMENCLATURA</i>
A	–	–	–	100	A(100CPC)
B	5	10	–	85	B(5CV-10EH-85CPC)
C	5	–	10	85	C(5CV-10MS-85CPC)
D	10	5	–	85	D(10CV-5EH85CPC)
E	–	5	10	85	E(5EH-10MS-85CPC)
F	10	–	5	85	F(10CV-5MS-85CPC)
G	–	10	5	85	G(10EH-5MS-85CPC)
H	10	10	–	80	H(10CV-10EH-80CPC)
I	10	–	10	80	I(10CV-10MS-80CPC)
J	5	–	15	80	J(5CV-15MS-80CPC)
K	–	5	15	80	K(5EH-15MS-80CPC)

Las muestras sometidas al ensayo de compresión se elaboran con tamaño máximo de agregado (TMA) de $\frac{3}{4}$ ’, de material calizo; agregado fino silicio de acuerdo a ASTM C33-99 [10] y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma ASTM C 31-98 [11]. Las probetas cilíndricas se someten a ensayos de acuerdo a ASTM C 39 [12] Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto a los 28 y 90 días de curado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1, se ilustra el tamaño de partícula promedio de los materiales de partida.

Podemos observar que la mayor parte de sus partículas del cemento Portland, son de aproximadamente 20 μm ; el tamaño promedio de las partículas de ceniza volante son de 50 μm , el tamaño de la microsílíce es de 90 μm y la escoria de alto horno de 50 μm .

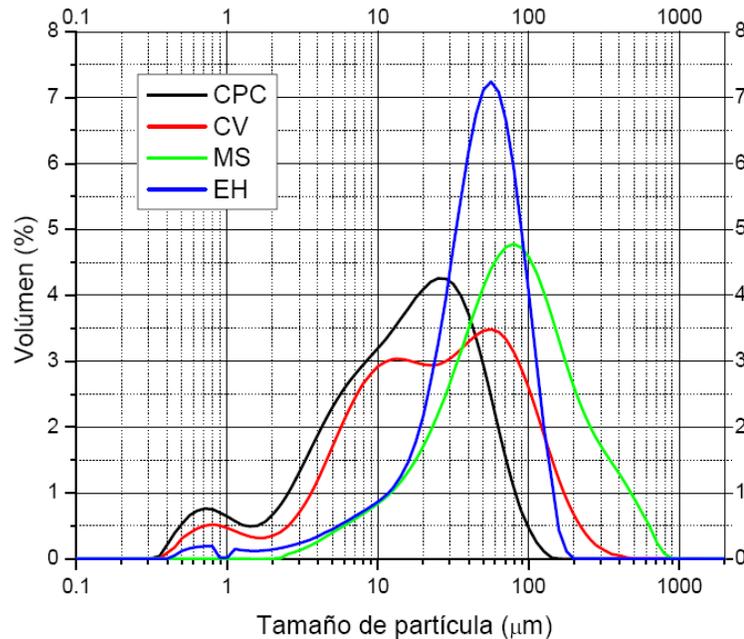


Figura 1. Tamaño de partícula por volumen de los materiales de partida.

En cuanto al análisis de área superficial por el método BET, de las partículas de los materiales de partida, el análisis fue realizado mediante adsorción de nitrógeno, las muestras fueron previamente desgasificadas al vacío a 250°C por 2 horas.

Los resultados obtenidos de ésta prueba se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Área superficial de la partícula de los materiales de partida.

<i>Material</i>	<i>Área superficial</i>
Cemento Portland	4,24 m ² /g
Ceniza Volante *	-----
Microsílíce	28,23 m ² /g
Escoria de alto horno	7,48 m ² /g

La determinación del área superficial de la ceniza volante, fue imposible determinarla por éste método, debido a que el tamaño de partícula de este material es muy pequeño aproximadamente de 2,4 m²/g [13,14].

En la Gráfica 4.3, se muestran los resultados obtenidos, donde se observa que la mezcla control A(100CPC), a los 28 días obtuvo la resistencia para la cual fue diseñada, 250 Kg/cm², incrementando un 3% su resistencia a los 90 días. Las mezclas ternarias que aumentaron la

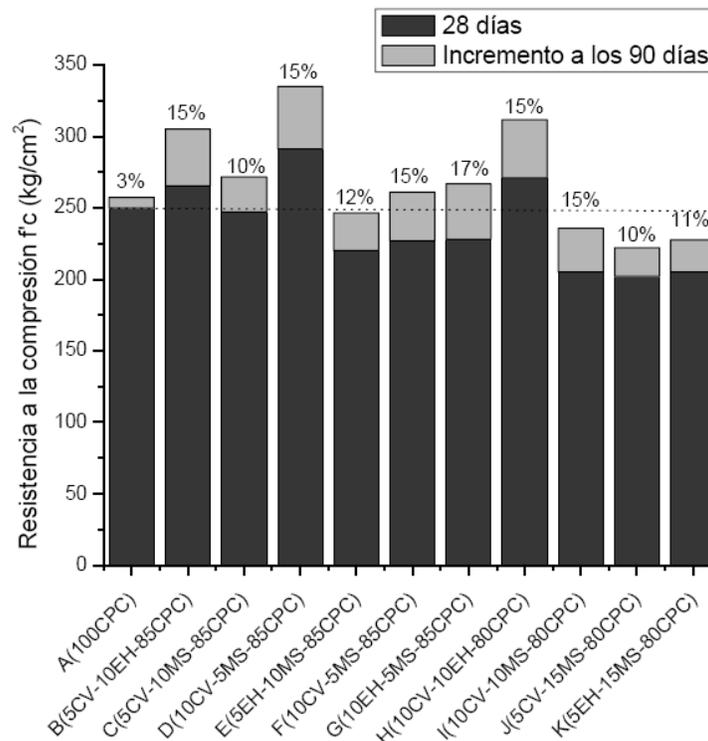


3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



resistencia a la compresión para las que fueron diseñadas, fueron la B(5CV-10EH-85CPC), D(10CV-5MS-85CPC) y H(10CV-10EH-80CPC); aumentando un 15% la resistencia a los 90 días. En estas mezclas fueron las que obtuvieron el mejor comportamiento, destaca la presencia de la ceniza volante (CV) entre un 5 y un 10% como remplazo del cemento Portland en combinación con escoria de alto horno (EH) y microsílíce (MS), esta última en cantidades de 5%.

Mientras que las mezclas C(5CV-10MS-85CPC), E(5EH-10MS-85CPC), I(10CV-10MS-80CPC), J(5CV-15MS-80CPC) Y K(5EH-15MS-80CPC), no obtienen la resistencia de diseño a los 28 días, y tampoco a los 90. Lo interesante de este dato, es que las 5 mezclas en cuestión contienen entre un 10 y un 15% de microsílíce (MS).



Estos resultados pueden ser atribuidos a que el área superficial de la MS es demasiado grande ($28,23 \text{ m}^2/\text{g}$), por este motivo, se exige una mayor demanda de agua esto hace necesario el uso de superplastificantes para obtener buenos resultados a la compresión y una mezcla con buena consistencia de trabajabilidad. [15].

Como Kemal y Kirca [16], que realizaron mezclas binarias y ternarias de concretos, usando como material base la microsílíce y empleando superplastificantes, donde encontraron que reemplazando un 15% de cemento Portland con este material, la mezcla de concreto presentaba una ganancia de resistencia a la compresión del 30% con respecto a un concreto control. Así mismo en mezclas ternarias (15%MS-15%FA-70%CPC), y (15%MS-15EH-70%CPC), se



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



obtuvieron ganancias de resistencia a la compresión de hasta un 8.2%, con respecto a la mezcla control.

El uso de MS debe ser limitado para el uso en estructuras donde se requieran altas resistencias mecánicas, por elevar los costos debido al consumo de superplastificantes.

El uso de aditivos minerales con área superficial alta y poco reactivas, no contribuyen al desarrollo de resistencias mecánicas tempranas del concreto, pero si ganaran resistencias a futuro.

Una solución propuesta por Mehta y GjØry, es utilizar una mezcla sin remplazo de cemento Portland, y después adicionar los aditivos altamente reactivos, tales como CV y MS respectivamente [17].

Algunas investigaciones como las realizadas por Khatri et al [15,18], han demostrado que el uso combinado de CV y MS, dan lugar a mejores resultados a esfuerzos de compresión.

Al realizar las mezclas de concreto que contenían EH y CV, se observó que cuanto mayor cantidad de CV se empleaba, era menor el agua que se consumía para llegar a una buena trabajabilidad, este efecto es debido a las partículas esféricas [19]. Las partículas esféricas actúan como pequeños cojinetes para reducir la fricción interpartículas. De hecho, el uso de CV es más beneficioso que el de MS a este respecto, ya que la adición de CV reduce el contenido de agua, ya que envuelve los granos de cemento y actúan como un lubricante eficaz.

En la presente investigación, se observó que las mejoras en la resistencia a la compresión del concreto ternario que contienen puzolanas D(10CV-5MS-85CPC), se puede explicar por el producto de las reacciones químicas y por efectos físicos de las puzolanas.

El efecto químico es principalmente debido a las reacciones puzolánicas entre el sílice amorfo y el hidróxido de calcio (CH) producido por la hidratación del cemento para formar CSH.

El efecto físico que se puede considerar, es el que tienen las partículas de CV y MS, de envolver o recubrir los materiales sólidos, llenando los espacios entre los granos de cemento, de la misma manera que el cemento llena los espacios entre los agregados finos, y los agregados finos llenan los espacios de los agregados gruesos del concreto.

CONCLUSIONES

- Se determinó que la resistencia a la compresión es inversamente proporcional a la adición de MS, ya que en cantidades mayores a un 10% en remplazo del CPC, no se alcanzan las resistencias a la compresión para el cual fue diseñado el concreto control.
- Cuanto mayor sea el área superficial de la MS mayor será la cantidad de agua que se le agregará a la mezcla de concreto ternario, y por tal motivo, la resistencia a la compresión será menor.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



- Resultó beneficioso el uso de CV en las mezclas de concretos ternarios, con la combinación de MS (en porcentajes no mayores al 5%) y EH, ya que incrementó la resistencia mas de 50 kg/cm², a los 28 días, respecto a la mezcla control, y a los 90 días hasta en un 15%.
- La EH, en combinación con la CV, producen cambios significativos, ya que elevan resistencias, esto por que la EH es un material cementante que al hidratarse fortalece la matriz del concreto.
- El uso de aditivos minerales con área superficial alta no contribuyen al desarrollo de resistencias mecánicas.
- Las mezclas que mejores desempeños ante los esfuerzos de compresión fueron la B(5CV-10EH-85CPC) y la D(10CV-5MS-85CPC)

REFERENCIAS

1. I. García-Lodeiro, A. Palomo, A. Fernandez-Jimenez “Alkali-Aggregate Reaction in Activated Fly ash System” Cement and Concrete Research 37 No. 2 (2007) p.p. 175-183
2. A. Fernández-Jiménez, A. Palomo, C. López-Hombrados “Precast Elements Made of Alkali-Activated Fly Ash. Concrete” ACI Mater. Journal 103 No. 2 (2006) p.p. 106-112
3. A. Fernández-Jiménez, A. Palomo “Factors affecting early compressive strength of alkali activated fly ash (OPC-free) concrete” Materiales de Construcción 57 No. 287 (2007) p.p. 7-22
4. H.F.W. Taylor “Cement Chemistry Academic” Press, San Diego, CA (1990)
5. Mehta, P.K. “Effect of fly ash composition on the sulfate Resistance of cement” ACI Journal. Proceedings 83 No. 6 (1986) p.p. 994-1000
6. E.C. Higginson “Manual de Control del Concreto” Universidad Nacional Autónoma de México No. 68 (1962)
7. Tae-hyun Ha “Accelerated Short-Term Techniques to Evaluate the Corrosión Performance of Steel in Fly Ash Blended Concrete” Building and Enviroment 42 No. 1 (2007) 78-85
8. Xinghua Fu, Zhi Wang, Wenhong Tao, Chunxia Yang, Wenping Hou, Youjun Dong, Xuequan Wu “Studies on Blended Cement Whit a Large Amount of Fly Ash” Cement and Concrete Research 32 No. 7(2002) p.p. 1153-1159
9. Videm K Corrosion Science, 2007; 49 (4): 1702–1717
10. ASTM C 33-07 “Standard Specification for Concrete Aggregates” American Society for Testing Materials Annual, Book of ASTM Standards, Vol. 04.02 West Conshohocken USA (1999)
11. ASTM C 31-98 “Standard Practique for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field” American Society for Testing Materials Annual, Book of ASTM Standards, Vol. 04.02 West Conshohocken USA (1998)
12. ASTM C 39-99 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens” American Society for Testing Materials Annual, Book of ASTM Standards, Vol. 04.02 West Conshohocken USA (1999)



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



13. P.Davini “ Investigation of the Flue Gas Desulfurization by Fly Ash and Calcium Hydroxides Mixtures” Resources, Conservation and Recycling, 15, p.p. 193-201
14. N. Moreno “Valorización de cenizas volantes para la síntesis de zeolitas mediante extracción de sílice y conversión directa. Aplicaciones ambientales” Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya (2002)
15. R.P. Khatri, V. Sirivivatnanon, W. Gross “Effect of Different Supplementary Cementitious Materials on Mechanical Properties of High Performance Concrete” Cement and Concrete Research 25 No. 1 (1995) p.p 209-220
16. T. K. Erdem, Ö. Kirka “ Use of Binary and ternary Blends in High Strenght Concrete” Construction and Building Materials 22 No. 7 (2008) p.p. 1477-1483
17. P.K. Mehta, O.E. Gjory “ Properties of Portland Cement Concrete Containing Fly Ash and Condensed Silica Fume” Cement and Concrete Research 12 No. 5 (1982) 587-595
18. C. Osyildirim, W.J. Halstead “Improved Concrete Quality Whit Combinations of Fly Ash and Silica Fume” ACI Mater. Journal 91 No. 6 (1994) p.p. 587-594
19. A. Goldman, A. Bentur “ The influence of microfillers on Enhancement of Concrete Strengh” Cement and Concrete Research 23 No. 4 (1993) p.p. 962-972