



## Concretos fluidos con altos volúmenes de ceniza volante

PEDRO L. VALDEZ\*, ALEJANDRO DURÁN\*, JORGE M. RIVERA\*, CÉSAR A. JUÁREZ\*\*

En los últimos años ha habido avances importantes en la tecnología del concreto que han revolucionado la industria de la construcción. Entre éstos, dos son de los más importantes: el primero fue el descubrimiento de los aditivos reductores de agua de alto rango (superfluidificantes), desarrollados y comercializados en la década de los setenta, los cuales hoy en día siguen modificándose para mejorar las propiedades reológicas de los concretos; el segundo, la aparición de los concretos con altos contenidos de ceniza volante (HVFA = High Volume Fly Ash).

El término HVFA fue acuñado por V. M. Malhotra *et al.*<sup>1</sup> en "The Canada Centre for Mineral and Energy Technology" (CANMET), y describe aquellos concretos con un contenido muy bajo de agua, en el cual, al menos 50% de la masa del cemento Pórtland (CP), es remplazado con una ceniza volante (FA) tipo F o C conforme a lo establecido a las normas ASTM.

### Concreto con HVFA y los aditivos superfluidificantes

Cuando se pretende fabricar concreto con una baja relación agua/cementante (A/CM), y se requiere al

menos un revenimiento de 150 mm, es necesario el uso de un aditivo superfluidificante. Con un superfluidificante se pueden obtener dos diferentes tipos de beneficios: el primero consiste en la disminución de la relación A/CM para lograr un concreto de consistencia fluida, y al mismo tiempo se disminuye el contenido de CP en la mezcla. Como segundo beneficio, y desde un punto de vista ecológico, contribuye a reducir las emisiones del CO<sub>2</sub> a la atmósfera, gracias a menores consumos de CP para alcanzar la misma resistencia mecánica.

### Concreto con HVFA y la sustentabilidad

La producción del CP es un proceso que demanda altos consumos de energía y a la vez produce cantidades significativas de gases de efecto invernadero, principalmente el CO<sub>2</sub>. La producción de una tonelada de CP contribuye a la generación de una tonelada de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Esta relación de emisión puede variar de 1.1 toneladas para una planta con proceso vía húmeda a 0.8 toneladas para una planta con precalcinadores.<sup>2</sup>

\* Departamento de Tecnología del Concreto, Facultad de Ingeniería Civil, UANL.

\*\*Programa Doctoral de Ingeniería de Materiales de Construcción y Estructuras, Facultad de Ingeniería Civil, UANL.

Se estima que la producción de CP en el mundo para 2010 sea aproximadamente de 2 billones de toneladas,<sup>3</sup> lo cual equivale aproximadamente a 7% del CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera.<sup>4</sup>

Por otro lado, la necesidad de infraestructura de los países en desarrollo como México requiere incrementar los consumos de CP para satisfacer la demanda de concreto. Desafortunadamente, la instalación de nuevas plantas incrementará sustancialmente las emisiones de CO<sub>2</sub> por la fabricación del cemento.<sup>2</sup> Para reducir estas emisiones, es decir, reducir el consumo de *clinker* de cemento para el mismo volumen de concreto, se requiere incrementar el uso de complementos cementantes, tales como la FA.

Considerando la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido, es imperativo que la fabricación del cemento sea lo más amigable posible con el medio ambiente. Si esto no es posible, entonces en las nuevas plantas se deben encontrar las formas o vías para reducirlo significativamente a través del uso optimizado de cementantes complementarios en el concreto.<sup>5</sup>

Al respecto, en 1999, P. K. Mehta mencionó lo siguiente:

El desarrollo sustentable ha emergido como una filosofía clave de este siglo. La meta del desarrollo sustentable, para las industrias del cemento y del concreto, puede ser alcanzada si hacemos un esfuerzo serio en la utilización efectiva de subproductos puzolánicos y cementantes producidos por las centrales eléctricas termales y en las industrias metalúrgicas.<sup>6</sup>

#### Concreto con HVFA y la durabilidad

En el diseño de estructuras de elementos de concreto, la durabilidad es un factor crucial a considerar, los agentes potencialmente perjudiciales que afectan las construcciones de concreto pueden estar presentes en el ambiente del servicio y, como consecuencia, disminuir significativamente su vida útil de servicio estimada y la propia estabilidad estructural.<sup>7</sup>

La durabilidad del concreto se refiere a la capacidad para mantenerse en servicio adecuado durante cierto período el tiempo.<sup>8,9</sup> La vida útil de una estructura se refiere a la capacidad para realizar las funciones para las cuales fue diseñada y construida mien-

tras está expuesta a un ambiente específico. La durabilidad de una estructura de concreto dependerá de la calidad del concreto y de la agresividad del ambiente en servicio.<sup>10</sup>

La presencia de cementantes en el concreto, como la FA, puede modificar el tamaño de los poros y minimizar significativamente el efecto adverso que se produce en la zona de la transición, es decir, se optimiza el empaquetamiento de partículas de la matriz cementante, mejorando como consecuencia el enlace con el agregado y las propiedades mecánicas del concreto.<sup>10</sup>

#### Materiales y programa experimental

El programa experimental fue diseñado para estudiar dos series de concreto con consumos constantes de CP, 100 kg/m<sup>3</sup> para la serie A y 150 kg/m<sup>3</sup> para la serie B. Para cada serie se estudiaron seis mezclas de concreto, una mezcla de referencia y cinco mezclas con adiciones de 30, 60, 90, 120 y 150% de FA en relación a la masa de CP.

La siguiente nomenclatura se empleó para identificar cada una de las seis mezclas en cada serie: R, FA30, FA60, FA90, FA120 y FA150. Para cada serie, las muestras fueron identificadas por letras y números. La primera letra indica la serie la mezcla, A o B. En las mezclas AR y BR, la letra R indica que ésta es la mezcla de la referencia. En las otras mezclas, FA indica que la ceniza volante fue añadida, y el número representa el porcentaje de FA añadida, partiendo de 30 hasta un 150%.

Se realizaron mezclas de tanteo para encontrar la cantidad de agua necesaria para obtener una consistencia DIN de 55 ± 2 cm. Las relaciones agua/cemento (A/C) encontradas para las mezclas AR y BR fueron 1.8 y 1.3, respectivamente. Se adicionó aditivo superfluidificante para alcanzar la misma consistencia en las mezclas que contienen FA.

Para la misma consistencia fluida se realizaron mezclas de tanteo con reducciones de agua de 40 y 35% para las series A y B, respectivamente, lo anterior para determinar la dosificación final del superfluidificante para todas las mezclas.

Para ambas series se determinaron las siguientes propiedades del concreto en estado fresco:

revenimiento, consistencia DIN, contenido de aire y temperatura. Con el objetivo de evaluar de forma general la pérdida de revenimiento, se consideró solamente realizar esta prueba para una serie, seleccionando la serie B. Se produjeron especímenes cilíndricos de concreto para determinar la resistencia a la compresión y la retracción por secado para ambas series. Se fabricaron especímenes para realizar la resistencia mecánica a la abrasión para la condición más crítica, siendo ésta la serie A, ya que contiene con menor consumo de cemento que la serie B.

## Materiales

Como materiales cementantes se utilizaron el CP tipo I, conforme a la norma ASTM C 150 y FA tipo F de carbón bituminoso, conforme a lo descrito en ASTM C 618, la cual es producida en la planta carboeléctrica de Nava, Coahuila. Los análisis químicos y propiedades físicas se muestran en las tablas I y II, respectivamente.

En el diseño experimental se consideraron diferentes aditivos superfluidificantes para cada serie, el objetivo fue determinar la dosificación requerida

Tabla I. Composición química del cemento Pórtland y ceniza volante, % en masa.

Elemento	CP	FA
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	19.28	60.42
Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5.03	27.28
Oxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.79	4.07
Oxido de calcio (CaO)	64.31	2.47
Oxido de Magnesio (MgO)	1.68	0.91
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	3.07	0.34
Oxido de sodio (Na <sub>2</sub> O)	0.23	0.62
Oxido de potasio (K <sub>2</sub> O)	0.95	1.11
Oxido de titanio (TiO <sub>2</sub> )	0.22	1.09
Oxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.09	0.09
Oxido de manganeso (Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.04	0.02
Pérdida por ignición 950°C	3.24	1.0
Suma	<b>99.93</b>	<b>99.42</b>
Na <sub>2</sub> O eq.	<b>0.86</b>	<b>1.35</b>
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>26.1</b>	<b>91.77</b>

Tabla II. Propiedades físicas del cemento Pórtland y la ceniza volante.

Cemento Pórtland	
Área Superficial, Blaine, m <sup>2</sup> /kg	399
Fineza, % que pasa la malla 45 µm	92
Densidad	3.10
Ceniza Volante	
Fineza, % que pasa la malla 45 µm	65
BET, Área Superficial, m <sup>2</sup> /g	3.2
	2.38

para la consistencia especificada. Para la serie A se utilizó un aditivo superfluidificante basado en policarboxilato (PSP), el cual tiene una densidad de 1.07, en tanto que para la serie B se utilizó un aditivo a base de naftaleno (NSP), con una densidad de 1.10. Ambos aditivos tienen un contenido de agua de 75% en masa.

Se utilizó agregado de caliza típico del área metropolitana de Monterrey. El agregado fino tiene una densidad de 2.63 y una absorción de agua de 1.59%, el agregado grueso tiene una densidad de 2.83 y una absorción de 0.41%.

Puesto que en ambos concretos la consistencia fue el factor principal a controlar en la producción de las mezclas, y para que no hubiese cambios en la misma por las variaciones granulométricas, se decidió resolver este inconveniente manteniendo siempre una graduación uniforme para cada una de las mezclas realizadas, es decir, separando los agregados en cada una de las fracciones de tamaños. Las distribuciones granulométricas utilizadas para ambas series se muestran en tabla III.

Tabla III. Granulometría de agregados fino y grueso.

Agregado fino		Agregado grueso	
Malla	% que pasa	Malla	% que pasa
3/8"	100	1 1/2"	100
#4	98	1"	100
#8	90	3/4"	95
#16	68	1/2"	56
#30	43	3/8"	38
#50	20	#4	5
#100	6	#8	3

### Proporciones de las mezclas

Las proporciones de todas las mezclas y las correspondientes relaciones A/C y A/(C+FA) o A/CM para ambas series se muestran en la tabla IV.

### Propiedades del concreto en estado fresco

Para determinar la consistencia se utilizaron dos métodos: la prueba de revenimiento de acuerdo al

Tabla IV. Proporciones del concreto para las mezclas de las series A y B.

Serie A						
Ingrediente	Mezcla					
	AR	AFA30	AFA60	AFA90	AFA120	AFA150
Agua, kg/m <sup>3</sup>	96	97	99	97	97	96
Cemento, kg/m <sup>3</sup>	99	100	101	100	99	100
Ceniza volante, kg/m <sup>3</sup>	0	30	60	90	119	150
PSP, L/m <sup>3</sup>	11	7	8	11	11	12
Ag. Grueso, kg/m <sup>3</sup>	932	946	953	951	944	946
Ag. Fino, kg/m <sup>3</sup>	1313	1300	1272	1228	1184	1145
A/C	1.07	1.01	1.06	1.07	1.08	1.07
A/(C + FA)	1.07	0.78	0.66	0.56	0.49	0.43
Serie B						
Ingrediente	Mezcla					
	BR	BFA30	BFA60	BFA90	BFA120	BFA150
Agua, kg/m <sup>3</sup>	123	121	117	115	112	87
Cemento, kg/m <sup>3</sup>	154	155	154	154	153	150
Ceniza volante, kg/m <sup>3</sup>	0	46	93	139	184	225
NSP, L/m <sup>3</sup>	7	9	11	13	20	45
Ag. Grueso, kg/m <sup>3</sup>	994	991	999	1005	1010	1044
Ag. Fino, kg/m <sup>3</sup>	1211	1152	1100	1035	978	903
A/C	0.83	0.83	0.83	0.82	0.84	0.83
A/(C + FA)	0.83	0.64	0.51	0.43	0.38	0.33

Para realizar las mezclas se utilizó una mezcladora de contracorriente con tambor giratorio a una velocidad de 46 rpm y paletas interiores que giran a una velocidad de 425 rpm.

Las mezclas fueron producidas de la siguiente forma: primero se introdujeron los agregados y aproximadamente el agua de absorción, mezclando por 30 segundos. Después, sin detener la mezcladora, se adicionaron simultáneamente el agua de reacción y los materiales cementantes. El mezclado continuó por un minuto, después de este tiempo se añadió el superfluidificante, prolongando el mezclado por un minuto y medio más.

método de prueba ASTM C 143 y la mesa DIN. El contenido de aire atrapado en el concreto fue determinado conforme al método de prueba ASTM C 231 tipo B y la temperatura del concreto conforme a lo establecido en ASTM 1064. Los resultados se muestran en la tabla V.

### Tiempo de fraguado y pérdida de consistencia de la serie B

El tiempo de fraguado se determinó de acuerdo a ASTM C 403; los resultados se presentan en la tabla VI. La pérdida de consistencia fue determinada usando el método del cono de revenimiento, los resultados se muestran en la figura 1.

Tabla V. Propiedades del concreto en estado fresco.

Serie A				
Mezcla	Rev. cm	DIN Cm	Contenido de Aire %	Temp. ° C
AR	20	54	4.3	28
AFA30	19	53	3.0	29
AFA60	21	52	2.3	28
AFA90	17	52	2.7	27
AFA120	21	53	3.5	26
AFA150	22	56	3.5	27
Serie B				
BR	23	57	1.6	30
BFA30	20	53	2.0	31
BFA60	23	56	1.9	31
BFA90	20	54	2.2	33
BFA120	22	57	2.0	33
BFA150	17	55	1.9	34

Tabla VI. Tiempos de fraguado para las mezclas de concreto Serie B

Mezcla	Tiempo de fraguado minutos	
	Inicial	Final
BR	142	228
BFA30	177	273
BFA60	230	324
BFA90	263	353
BFA120	330	458
BFA150	320	490

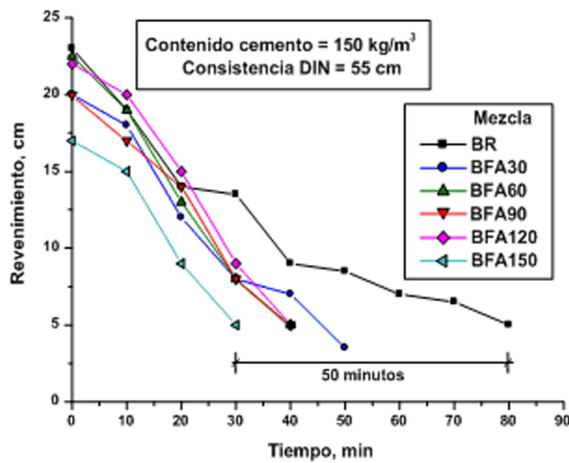


Fig. 1. Pérdida de revenimiento para concretos de la serie B.

### Moldeo y curado de especímenes

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto, se fabricaron tres especímenes cilíndricos por cada edad establecida con dimensiones nominales de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, según lo establece el método de prueba ASTM C 192, lo anterior para ambas series, los resultados se muestran en la tabla VII y en la figura 2.

Se moldearon y curaron especímenes prismáticos de concreto con dimensiones de 7.5 × 7.5 × 28.0 cm para determinar las retracción por secado, lo anterior siguiendo el método de prueba ASTM C 157, los resultados de las pruebas son presentados en la figura 3.

Para las mezclas de la serie A fueron fabricados y curados dos especímenes cilíndricos de 15 cm de

Tabla VII. Desarrollo de resistencia a la compresión para concretos de series A y B.

Mezcla	Resistencia a la compresión, MPa							Ganancia de resistencia % 28-180 días
	Serie A							
	3 días	7 días	14 días	28 días	56 días	180 días	360 días	
AR	12.7	14.6	-----	16.8	17.8	20.8	-----	24
AFA30	10.3	12.6	-----	18.1	21.8	25.9	-----	43
AFA60	11.3	13.8	-----	18.6	22.2	34.2	-----	84
AFA90	11.5	14.0	-----	24.2	37.7	49.7	-----	105
AFA120	12.6	15.7	-----	26.4	42.9	51.2	-----	94
AFA150	12.7	16.2	-----	27.8	44.5	53.8	-----	94
Serie B								
BR	15.3	17.4	18.7	21.4	24.4	29.9	31.3	46
BFA30	15.8	15.9	20.4	27.2	31.8	40.3	46.1	69
BFA60	15.4	17.4	23.4	33.0	42.2	46.6	50.0	52
BFA90	15.1	20.9	29.4	39.9	48.4	66.1	72.3	81
BFA120	17.0	23.7	36.4	48.5	62.1	74.7	80.4	66
BFA150	15.0	20.7	29.8	43.4	53.2	63.3	70.3	62

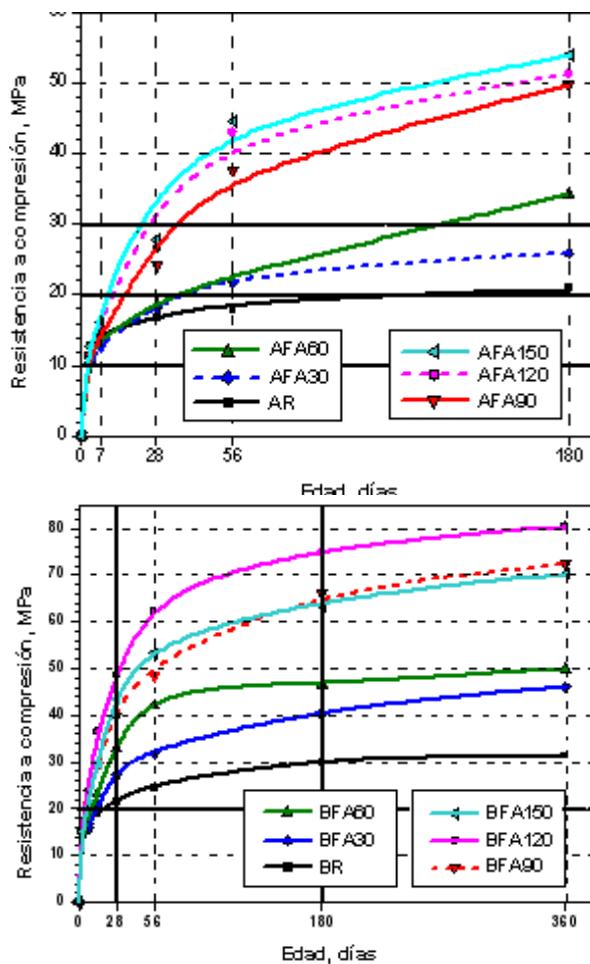


Fig. 2. Desarrollo de resistencia a la compresión para concretos de las series A y B.

diámetro y 30, cm de altura de acuerdo con la norma ASTM C 192, y con ellos se realizaron los ensayos para determinar la resistencia a la abrasión, tal como se establece en ASTM C 944. Los especímenes fueron curados de forma estándar durante 28 días; posteriormente, cada uno fue cortado en tres segmentos de proporciones similares y utilizados para determinar la resistencia a la abrasión. El promedio de los resultados encontrados se indica en la figura 4. Para propósitos comparativos, en la misma figura se han incluido los resultados de un concreto usual de 25 MPa de resistencia mecánica a la compresión, el cual fue curado por 28 días, también de forma estándar. Cabe aclarar que para producir este concreto se requiere aproximadamente 250 kg de cemento Pórtland por  $m^3$  de concreto.

## Resultados y discusión

En la tabla VI se muestran los tiempos de fraguado para la serie B con aditivo NSP, la mezcla BFA150 presentó el mayor retardo en el tiempo de fraguado final con una diferencia de 4 horas y 22 minutos, comparándola con el tiempo de fraguado final obtenido para la mezcla de referencia BR. Los tiempos de fraguado obtenidos para todas las mezclas de la serie B no representan problemas para la mayoría de las aplicaciones prácticas de este tipo de concreto.

La pérdida de revenimiento en las mezclas de la serie B se observan en la figura 1. Conforme se incrementa la adición de FA, la pérdida de revenimiento también se incrementa. Para los porcentajes de FA estudiados, la pérdida de revenimiento hasta un valor de 5 cm se presenta entre 30 y 50 minutos.

En la tabla VII y en la figura 2 se muestran los resultados del desarrollo de la resistencia mecánica a la compresión para ambas series y para cada una de las adiciones de FA. En el caso de la serie A se presentan los resultados hasta una edad de 180 días, mientras que la serie B fue evaluada hasta por 360 días.

En la serie A se puede observar que conforme se incrementa la adición de FA, la resistencia a la compresión también se incrementa. El mayor valor de resistencia a la compresión fue obtenido para la mezcla AFA150, con una resistencia de 53.8 MPa a una edad de 180 días.

En la serie B, la resistencia a la compresión se incrementa conforme aumenta la adición de FA hasta una adición de 120%, esta mezcla presenta la mayor resistencia a con un valor de 80.4 MPa a una edad de 360 días.

En ambas series, la mezcla con una adición de 90% de FA presentó el mejor comportamiento en el estado fresco, las mezclas con adiciones mayores a 90% de FA, y su correspondiente aditivo superfluidificante, se tornó altamente cohesiva lo cual resulta desfavorable para el colado y compactación de los especímenes. Cabe aclarar que a pesar del mejor comportamiento en estado fresco de la mezcla AFA90, esta mezcla presenta un 8% de resistencia a la compresión menor que la resistencia

obtenida en la mezcla AFA150 a los 180 días de curado. La mezcla BFA90 presentó una resistencia a la compresión mayor que la mezcla BFA150 y un 10% menor que la mezcla BFA120 a la edad de 360 días.

En la tabla VII también se presenta, para ambas series, la ganancia de resistencia a la compresión entre los 28 días de edad y las edades posteriores. Las mezclas que presentan la mayor ganancia de resistencia después de 28 días de edad son aquellas en las cuales fue añadida un 90% de FA. En este período, la ganancia de resistencia fue de 105% y 81% para las mezclas de las serie A y B, respectivamente.

Lo anterior es atribuido al efecto combinado de la FA y el aditivo superfluidificante sobre la densificación de la matriz cementante, a la actividad puzolánica de la FA y a la actividad hidráulica remanente del cemento Pórtland. Las mezclas que presentaron la menor ganancia de resistencia en el mismo período fueron las mezclas de referencia AR y BR. La ganancia de resistencia para estas mezclas fue de 24% y 46%, respectivamente.

En el área metropolitana de Monterrey, aproximadamente 80% del concreto premezclado comercializado por la industria del concreto es producido para una resistencia a la compresión especificada de 20 MPa, con un valor promedio de ruptura a la compresión de 25 MPa a la edad de 28 días. Comparando este tipo de concreto más usado con las mezclas AFA90, AFA120 y AFA150 y todas las mezclas con FA de la serie B, se observa que las mezclas realizadas presentan mayores resistencias a la compresión a los 28 días y el desarrollo de la resistencia a edades posteriores excede significativamente la resistencia de 25 MPa del concreto comercial.

Para ambas series, en la figura 3 se muestran los resultados de la retracción por secado hasta una edad de 56 días para las mezclas de la serie A y hasta 70 días para los concretos de la serie B. Al adicionar la FA, la relación  $A/(C+FA)$  disminuye y, consecuentemente, decrece la retracción por secado. A la edad de 56 días, para la serie A, la adición de FA reduce la retracción por secado hasta un 57% y para la serie B hasta un 48%. La discrepancia entre ambos valores puede ser atribuida principalmente a las diferencias entre los consumos de agua y cemento. La mayor velocidad en el desarrollo de la retracción

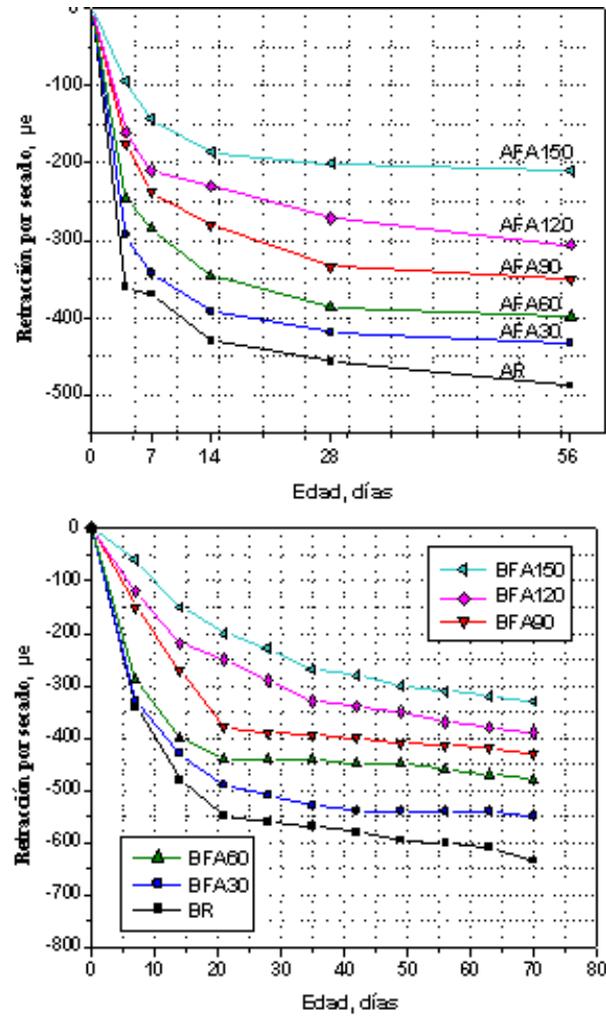


Fig. 3. Retracción por secado para concretos de las series A y B.

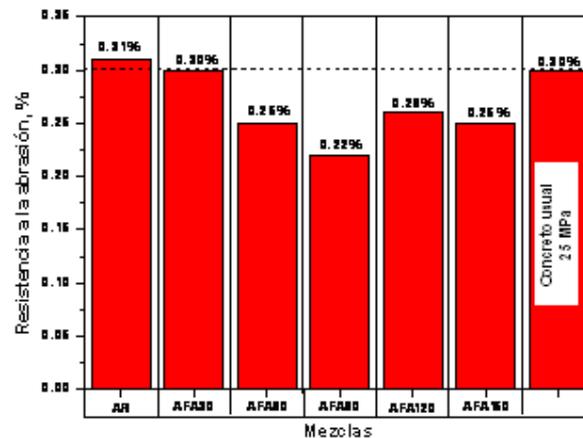


Fig. 4. Resistencia a la abrasión a la edad de siete meses para concretos de la serie A y concreto convencional de 25 MPa.

por secado ocurre entre los 0 y 14 días para la serie A y de 0 a 21 días para la serie B.

Para los concretos de la serie A, la retracción por secado de cada mezcla a los 14 días de edad varía entre 74 y 91%, respecto a la retracción total, mientras que para la serie B se calcula que a los 21 días, la retracción tiene valores de entre 61 y 92%.

La figura 4 muestra los resultados de la prueba de abrasión mecánica realizada a los concretos de la serie A para los siete meses de edad. La mezcla de referencia AR presenta una pérdida por abrasión de 0.31% de la masa, mientras que un concreto comercial de 25 MPa pierde 0.30%. Todas las mezclas que contienen FA presentan valores en un rango de 0.22 a 0.30%. La mezcla AFA90 presentó la menor pérdida por abrasión. Lo anterior confirma el beneficio del uso de la FA en los concretos, tanto en el aspecto de la resistencia mecánica como en el económico.

## Conclusiones

Se produjeron concretos de alta resistencia mecánica a la compresión con HVFA y con contenidos bajos de cemento Pórtland de 100 y 150 kg/m<sup>3</sup> de concreto, siendo imprescindible el uso de aditivo superfluidificante para ambas dosificaciones.

Las bajas relaciones agua/cementante, obtenidas como consecuencia de la adición de ceniza volante, permiten reducir la retracción por secado y la resistencia a la abrasión en concretos fluidos con HVFA. Los resultados obtenidos consolidan los argumentos técnicos y ecológicos para seguir promoviendo el uso de concretos con HVFA.

## Resumen

En esta investigación se muestran los resultados obtenidos de la producción de concretos fluidos con altos contenidos de ceniza volante. Se realizaron dos series, para cada serie se realizaron seis diferentes mezclas, una mezcla de referencia y cinco mezclas con adiciones de 30, 60, 90, 120 y 150% de ceniza volante como porcentaje en peso del cemento Pórtland utilizado. En la primera serie (A) se utilizó un consumo de cemento de 100 kg/m<sup>3</sup>, y para la segunda (B) un consumo de 150 kg/m<sup>3</sup>,

para ambas series se mantuvo fijo el consumo cemento por m<sup>3</sup>. Se utilizó un aditivo superfluidificante basado en policarboxilato para la serie A, y un aditivo superfluidificante a base de naftaleno para la serie B, fijando para ambas series una consistencia DIN de 55 ± 2 cm. Los resultados de la resistencia mecánica a la compresión muestran que el uso de la ceniza volante y aditivo a base de policarboxilato contribuyen a lograr resistencias entre 26 a 54 MPa, y para ceniza volante y aditivo a base naftaleno valores de 30 a 63 MPa a 180 días. Se obtuvieron incrementos significativos en la resistencia a la compresión después de los 28 días de edad, para la serie A se obtuvieron ganancias superiores al 105% y para la serie B arriba del 81%. En la serie A, y para la máxima adición de ceniza, la retracción por secado se redujo hasta un 57%, y para la serie B se redujo un 48%. Se realizaron las pruebas para determinar la resistencia a la abrasión para las series A y la mezcla de referencia. Al comparar los valores obtenidos, se observa una ganancia de la resistencia a la abrasión de 29% gracias a la adición de la ceniza volante.

**Palabras claves:** Concreto con alto contenido de ceniza volante, Superfluidificante, Sustentabilidad, Retracción por secado, Resistencia a la abrasión.

## Abstract

This paper presents the results of two series of flowable concrete, each consisting of six concrete mixtures: a reference and five mixtures with fly ash (FA) with additions of 30, 60, 90, 120, and 150% as percentage of the weight of portland cement (PC). In each of the two series, the PC content was maintained fixed, 100 and 150 kg/m<sup>3</sup> for series A and B respectively. A polycarboxylate based superplasticizer and a naphthalene based superplasticizer were used in series A and B respectively, achieving a DIN consistency of 55 ± 2 cm for both series. Compressive strength results show that together, FA and superplasticizer contributed to obtain compressive strengths in the range of 26 and 54 MPa for series A, and in the range of 30 and 63 MPa for concretes of series B at 180 days. Significant compressive strength gain was

obtained after a period of 28 days; a gain of up to 105 % was obtained for series A and up to 81 % for concretes of series B. For series A the maximum addition of FA reduced the drying shrinkage up to 57% and for series B up to 48%. Mechanical abrasion determinations were performed for concretes of series A and the reference mixture. Compared with the reference mixture, the addition of FA leads to 29% reduction of the wear by abrasion.

**Keywords:** High volume fly ash concrete, Superplasticizer, Sustainability, Durability, Drying shrinkage, Abrasion resistance.

## Referencias

1. Malhotra, V.M. "Superplasticized Fly Ash Concrete for Structural Applications". ACI Concrete International, Vol. 8, No. 12. Dec. 1986, pp. 28-31.
2. Malhotra, V.M. "Role of Supplementary Cementing Materials and Superplasticizers in Reducing Greenhouse Gas Emissions to the Environment." Proceedings of the Nelu Spiratos Symposium. Bucharest, Romania, pp. 1-11, June 2003.
3. "World Cement Annual Review 1997". World Cement, Vol. 28, No 7, July 1997, pp 3-60.
4. J. Péra, J. Ambroise, and M. Chabannet. (2001). Transformation of Wastes into Complementary Cementing Materials, p. 459. Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, SP199, ACI, Volume 2.
5. V. M. Malhotra. "Making Concrete Greener with Fly Ash". ACI Concrete International. May 1999, pp. 61-66.
6. P. Kumar Mehta. "Concrete Technology for Sustainable Development"; ACI Concrete International, Vol. 21, No 11, Nov. 1999; pp. 47-53.
7. Durán-Herrera, A. & FIC-UANL Academic Group on Concrete Technology, Editors. "Proceedings of the Raymundo Rivera International Symposium on Durability of Concrete. Monterrey, México. ISBN: 970-694-181-9; 543 pp. 2005.
8. Rostman, S., Editor. "Durability of Concrete Structures" Report of the CEB/RILEM International Workshop. Copenhagen, Denmark 1983; 432 pp.
9. Somerville, G. "The design Life of Concrete Structures". The Structural Engineering. London, U. K. Vol. 46A, No. 2, 1986.
10. Spiratos, N. Pagé, M., Mailvaganam, N.P., Malhotra, V.M., Jolicoeur, C. "Superplasticizers for Concrete. ISBN: 0-9731507-1-8; 321 pp., 2003.

*Recibido: 19 de agosto de 2006*

*Aceptado: 10 de octubre 2006*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS / Biblioteca Universitaria "Raúl Rangel Frías"



## Biblioteca Digital UANL

Bases de Datos

[www.dgb.uanl.mx/basededatos.php](http://www.dgb.uanl.mx/basededatos.php)

Acceso en línea a más de 25 mil títulos de revistas de texto completo

Áreas del conocimiento: Ciencias Agropecuarias, Ciencias de la Tierra, Ciencias de la Salud,  
Ciencias Biológicas, Ciencias Químicas, Ciencias Sociales, Ingeniería y Tecnología,  
Físico-Matemáticas, Economía y Administración, Artes y Humanidades



UANL

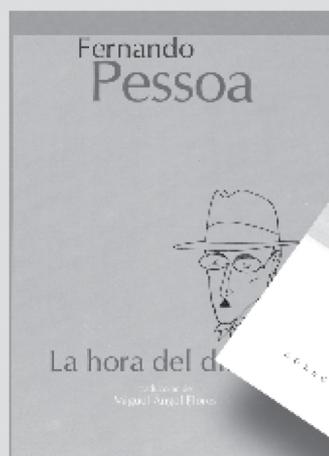
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
Ave. Alfonso Reyes N° 4000 Nte., Col Regina, C.P. 64290, Monterrey, Nuevo León; México  
Tels. (81) 8329 4090 ext. 4094 / Fax: (81) 8329 4065  
[www.uanl.mx/bibliotecas](http://www.uanl.mx/bibliotecas) [www.dgb.uanl.mx](http://www.dgb.uanl.mx)  
junio 2006



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  Secretaría de Extensión y Cultura

NOVEDADES EDITORIALES



(81) 83 29 41 11