

# Características de las mezclas cemento CEM I 52,5 R y cenizas volantes

ENRIQUE DAPENA GARCÍA (\*); VÍCTOR G. DELLA VECCHIA (\*\*); FERNANDO VARELA SOTO (\*\*\*)

**RESUMEN** En este trabajo se recoge un estudio de las propiedades de un conglomerante formado por cemento portland CEM I 52,5 R y cantidades variables de cenizas volantes -10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 80%. Las cenizas volantes de carbón proceden de una central termoeléctrica española.

## CHARACTERISTICS OF CONGLOMERATES WITH MIXTURE OF THE FLY-ASH AND CEMENT CEM I 52.25 R

**ABSTRACT** This paper refers to the properties of the conglomerates with admixture of variable quantities of the fly-ash -10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 80%. The conglomerants used are Cement Portland CEM I 52,5 R and coal fly ash obtained from a spanish steam electric plant.

**Palabras clave:** Cemento; Portland; Cenizas volantes.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la nueva clasificación de cementos, recogida en la Instrucción para la recepción de cementos (RC-96), se admite un contenido en cenizas volantes de hasta el 55%, clasificando los cementos en cuatro tipos: CEM I, CEM II / A-V, CEM II / B-V y CEM IV en función de que el contenido de cenizas volantes fuera inferior al 5, 20, 35 y 55% respectivamente.

En este trabajo se pretende cuantificar la influencia de un tipo de cenizas, procedente de la Central Termoeléctrica de Soto de la Ribera, en Asturias, sobre las propiedades del conglomerante, cuando se utilizan mezcladas con un cemento portland CEM I 52,5 R.

Los ensayos se realizan sobre ocho muestras de conglomerante, preparado mezclando el cemento y las cenizas, estando estas últimas en las proporciones de 0, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 80%.

## 2. COMPOSICIÓN Y FINURA DEL CEMENTO

### 2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO

El cemento CEM I 52,5 R está formado en su totalidad por clinker portland, sin adiciones.

Se ha añadido un 5% de yeso como regulador de fraguado.

La composición química y mineralógica del cemento fue facilitada por el fabricante, y se recoge en las tablas 1 y 2.

(\*) Catedrático de Materiales y Edificación. E.U.I.T.O.P., Universidad Politécnica de Madrid. Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. Ministerio de Fomento.

(\*\*) Estudiante del último año de la carrera de Ingeniería Civil. Universidad de Morón, Argentina.

(\*\*\*) Profesor titular de Materiales y Edificación. E.U.I.T.O.P., Universidad Politécnica de Madrid.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CLINKER		
Dióxido de silicio	Si O <sub>2</sub>	20.63%
Trióxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.94%
Trióxido de hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.01%
Óxido de calcio	CaO	65.05%
Óxido de calcio libre	CaO	1.31%
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>	3.22%
Pérdida al fuego		2.17%

TABLA 1

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DEL CLINKER		
Silicato tricálcico	C <sub>3</sub> S	59.84%
Silicato bicálcico	C <sub>2</sub> S	14.09%
Aluminato tricálcico	C <sub>3</sub> A	12.34%
Ferrito aluminato tetra-cálcico	C <sub>4</sub> AF	6.29%

TABLA 2

### 2.2. FINURA DEL CEMENTO

La superficie específica del cemento utilizado es alta: 4887 cm<sup>2</sup>/gr. Además, el 99.3% de las partículas tiene un tamaño inferior a 48 µm. Y el 97.2% de partículas tiene un tamaño inferior a 32 µm

## 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS CENIZAS VOLANTES

La composición de las cenizas volantes se recoge en la Tabla 3.

COMPOSICIÓN DE CENIZAS VOLANTES	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.32%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.28%
SO <sub>3</sub>	4.56%
Cloruros	0.018%
Pérdida al fuego	5%

TABLA 3

#### 4. ENSAYOS REALIZADOS

El objetivo del trabajo es determinar la influencia del contenido de un tipo de cenizas en las propiedades de un conglomerante constituido por el cemento CEM I 52,5 R y diferentes porcentajes de cenizas, en particular, determinar el contenido de agua necesaria para preparar la pasta de consistencia normal, la variación en el tiempo de principio y fin de fraguado, y la variación en la resistencia a compresión simple sobre mortero.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Determinación de la cantidad de agua para obtener la pasta de consistencia normal UNE 80-102/88;
- Determinación del inicio y fin de fraguado UNE 80-102/88;
- Determinación de la velocidad de propagación de ondas UNE 80-102/88;
- Determinación de resistencia a flexión y resistencia a compresión simple UNE-EN 196-1.

#### 5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

##### 5.1. PASTA DE CONSISTENCIA NORMAL

Se han preparado muestras de conglomerante con un contenido en cenizas de hasta el 80%. La cantidad de agua necesaria para conseguir pasta de consistencia normal disminuye a medida que aumenta el contenido de cenizas, según los valores recogidos en la tabla 4, y representados en la Figura 1.

El cemento, sin cenizas, necesita 167 gr. de agua para preparar la pasta de consistencia normal mientras que con un 80% de cenizas, se necesitan 134,0 gr. de agua, (fig.1).

La relación que existe entre la cantidad de agua para preparar la pasta de consistencia normal (W) y el contenido de cenizas (CV), Fig. 1, en el intervalo entre 0 y 60% se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$W=167 -10/20 CV$$

En el tramo 60-80% de cenizas, la demanda de agua es menor, y la pendiente del tramo es de -3.5/20.

##### 5.2. INICIO Y FIN DE FRAGUADO

El comienzo de fraguado se retrasa al ir aumentando el contenido de cenizas. En el cemento sin cenizas el principio de fraguado es a los 107 min, y en el cemento con un 80% de cenizas es 232 (tabla 5). La relación que existe entre el tiempo de inicio (t<sub>if</sub>) y el contenido de cenizas (CV) en el intervalo entre 0 y 60% de cenizas, Fig. 2, viene dada por la expresión:

$$t_{if}=107+24/20 CV$$

El tiempo de inicio del fraguado al pasar de 60 a 80% de cenizas, se incrementa en 52%, prácticamente el doble que en el tramo anterior.

##### 5.3. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS

La velocidad de propagación de ondas determinada sobre probetas a los 28 días, tiene un valor de 4364 m/seg cuando no se utilizan cenizas y un valor de 3461 m/seg, cuando se utilizan un 80% de cenizas. (Tabla 6).

En el intervalo entre 10 y 50% de cenizas la relación que existe entre la velocidad de propagación de ondas a los 28

CONTENIDO DE AGUA PARA CONSEGUIR PASTA DE CONSISTENCIA NORMAL								
	1 52.5R	10% C.V.	20% C.V.	30% C.V.	40% C.V.	50% C.V.	60% C.V.	80% C.V.
AGUA c.c.	167	162	157	155	148	140	136	134
REL. A/C	0.334	0.324	0.314	0.310	0.296	0.280	0.272	0.268

TABLA 4.

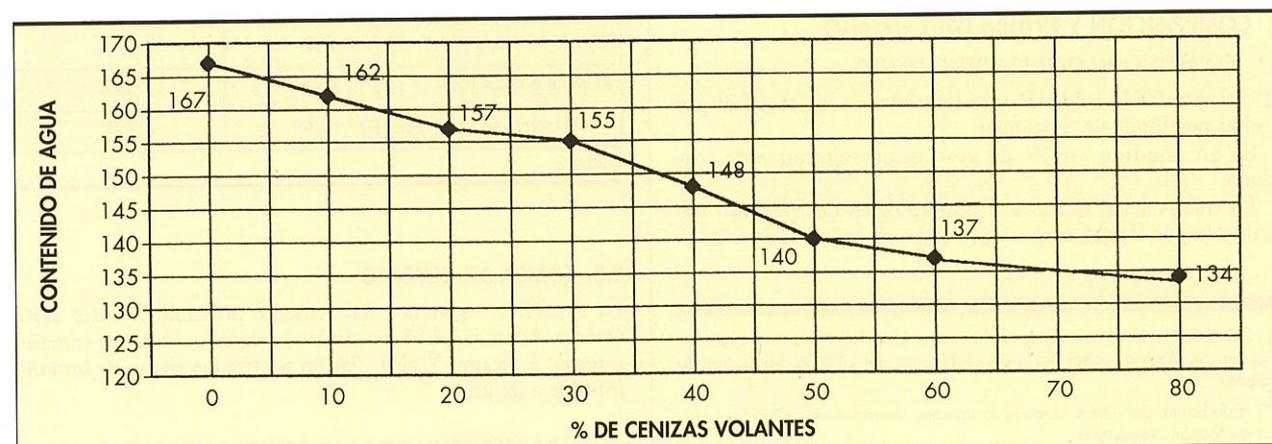


FIGURA 1. Cantidad de agua necesaria para obtener pasta de consistencia normal, en función del contenido de cenizas volantes (CV) del conglomerante.

CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS CEMENTO CEM I 52,5 R Y CENIZAS VOLANTES

TIEMPO DE INICIO Y FIN DE FRAGUADO DEL CONGLOMERANTE								
	I 52.5R	10% C.V.	20% C.V.	30% C.V.	40% C.V.	50% C.V.	60% C.V.	80% C.V.
INICIO DE FRAG./MIN	107	128	130	150	155	165	180	232
FINAL DE FRAG./MIN	222	228	230	265	270	280	350	442
TIEMPO DE FRAG./MIN	115	100	100	115	115	115	170	210

TABLA 5.

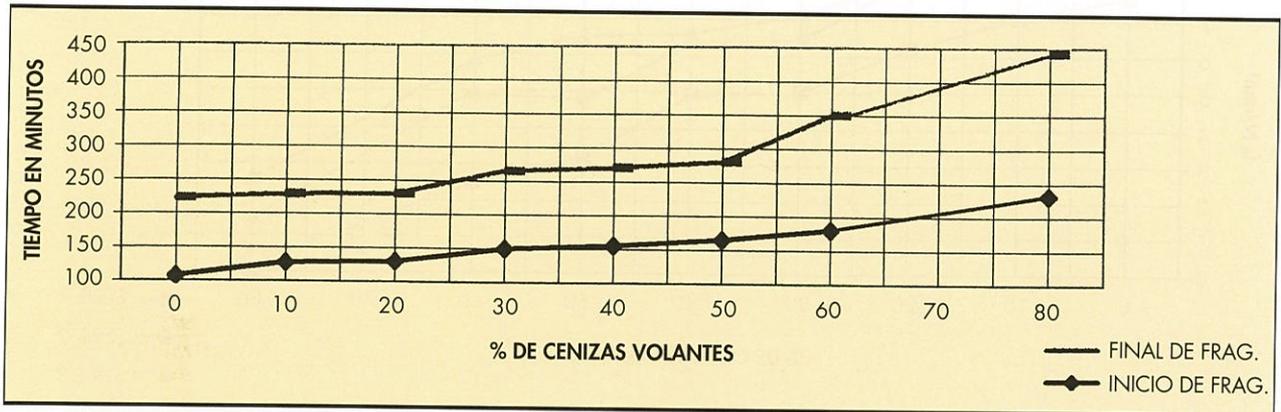


FIGURA 2. Evolución del principio y fin de fraguado del conglomerante en el contenido de cenizas.

VELOCIDAD DE PROPAGACION DE ONDAS SOBRE PROBETAS DE 4 x 4 x 16									
Vel. m/s		0% C.V.	10% C.V.	20% C.V.	30% C.V.	40% C.V.	50% C.V.	60% C.V.	80% C.V.
2 días	SERIE 1	4127.3	4074.8	4016.8	3883.6	3874.1	3833.9	3563.5	2916.6
7 días	SERIE 2	4236.6	4174.	4155.8	4134.4	3967.1	3950.05	3837.1	3355.5
28 días	SERIE 3	4363.7	4359.7	4340.	4247.8	4177.6	4120.2	3947.4	3460.7

TABLA 6.

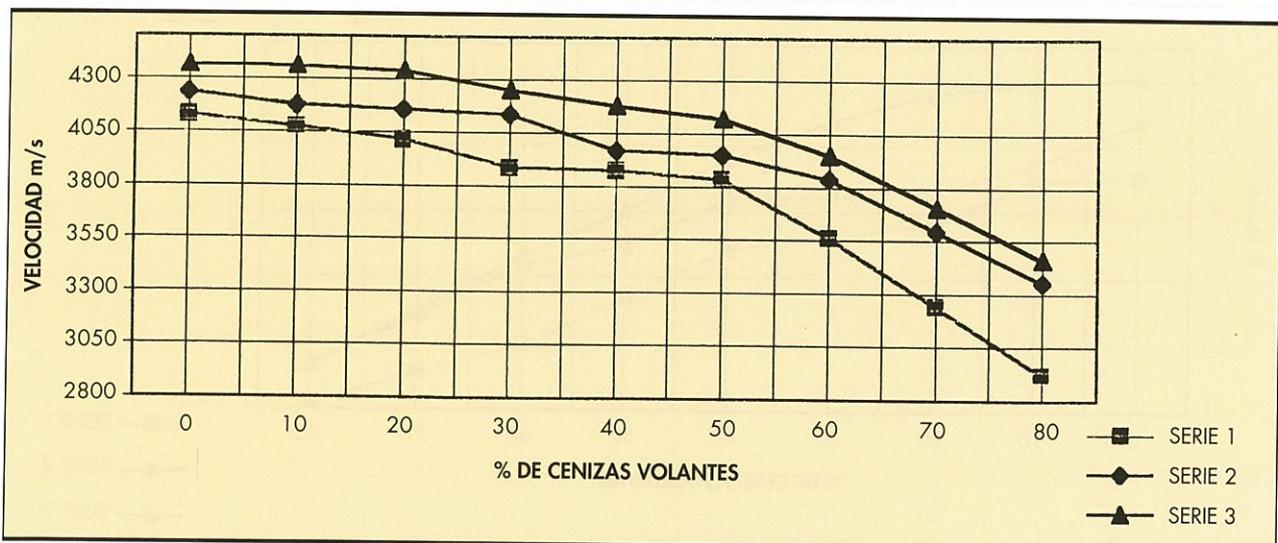


FIGURA 3. Variación de la velocidad de propagación de ondas con el contenido de cenizas.

RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXOTRACCION									
f <sub>R</sub> N/mm <sup>2</sup>		0% C.V.	10% C.V.	20% C.V.	30% C.V.	40% C.V.	50% C.V.	60% C.V.	80% C.V.
2 días	SERIE 1	7.62	7.06	6.22	5.01	4.89	3.21	2.45	0
7 días	SERIE 2	8.19	8.14	8.1	6.45	6.35	4.76	4.9	1.49
28 días	SERIE 3	8.23	8.12	8.05	7.15	6.58	6.51	5.86	2.59

TABLA 7.

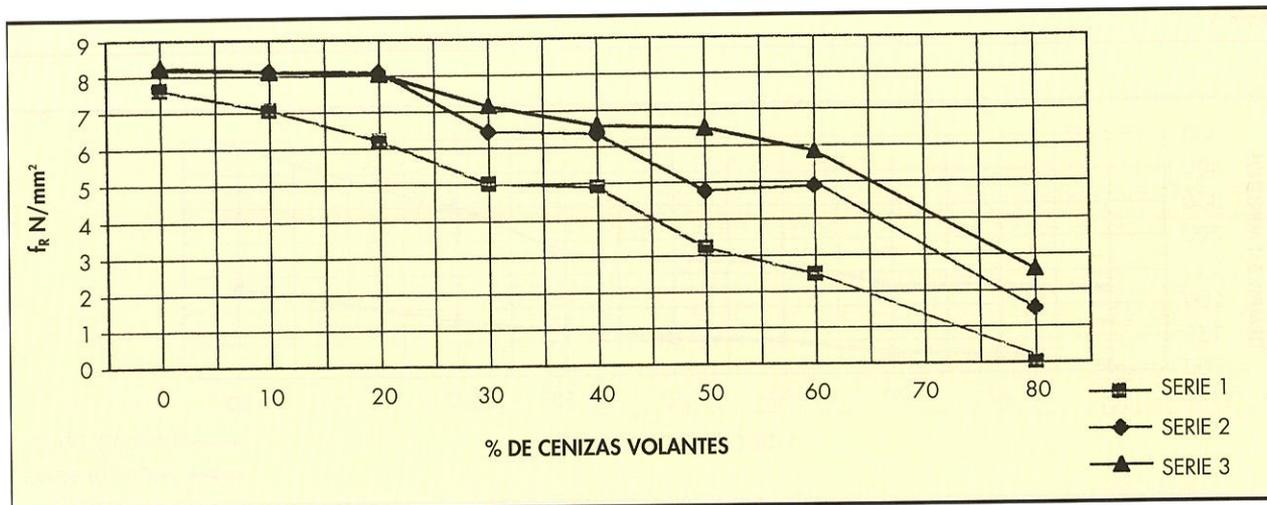


FIGURA 4. Variación de la resistencia a flexotracción con el contenido de cenizas.

días ( $V_{28}$ ) y el contenido de cenizas (CV), Fig. 3, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$V_{28} = 4364 - 93/20 \text{ CV}$$

En el intervalo entre 50 y 80% de cenizas volantes la velocidad disminuye más rápidamente según una recta de pendiente:  $-487/20 \text{ CV}$

#### 5.4. RESISTENCIA A FLEJO-TRACCIÓN

Los valores de la resistencia a flexotracción, determinados sobre probetas prismáticas de mortero de 4 x 4 x 16 cm, a edades de 2, 7 y 28 días, se recogen en la Tabla 7 y en la figura 4.

En el intervalo entre 0 y 20% de cenizas, la relación que existe entre la resistencia a flexotracción ( $f_{R28}$ ) sobre probetas a los 28 días, y el contenido de cenizas (CV), Fig. 4, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

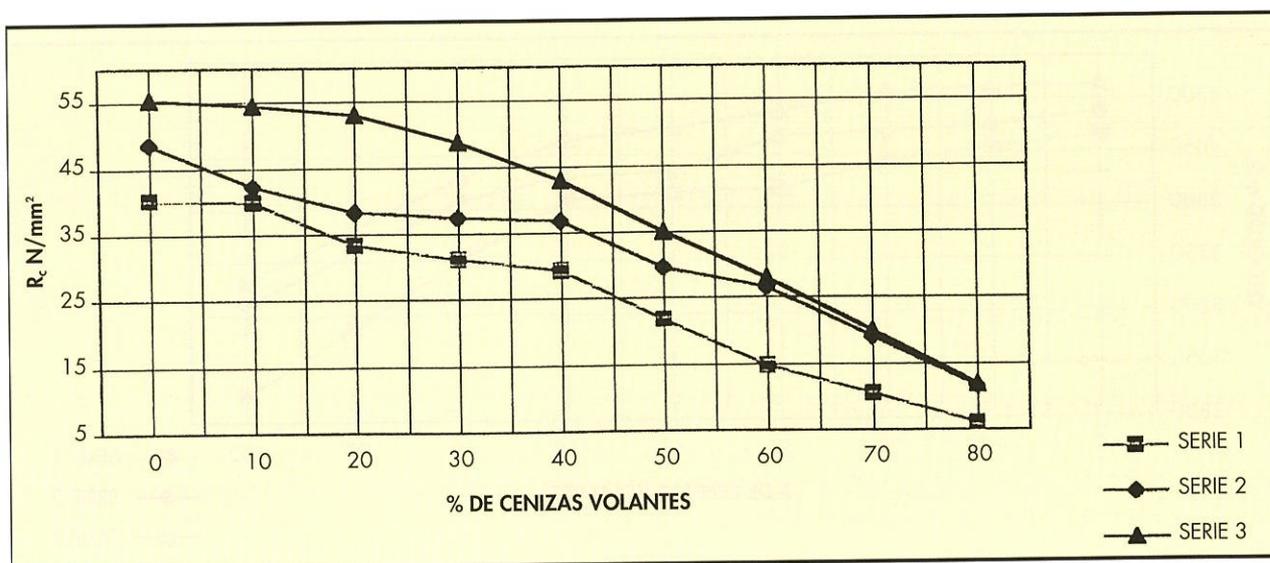


FIGURA 5. Variación de la resistencia a compresión con el contenido de cenizas.

**CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS CEMENTO CEM I 52,5 R Y CENIZAS VOLANTES**

RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION									
f <sub>c</sub> N/mm <sup>2</sup>		0% C.V.	10% C.V.	20% C.V.	30% C.V.	40% C.V.	50% C.V.	60% C.V.	80% C.V.
2 días	SERIE 1	40.17	39.85	33.21	31.01	29.33	21.66	14.72	6.03
7 días	SERIE 2	48.6	42.21	38.24	37.4	36.68	29.56	26.47	11.55
28 días	SERIE 3	55.34	54.38	52.97	48.64	42.84	34.98	27.98	11.82

TABLA 8.

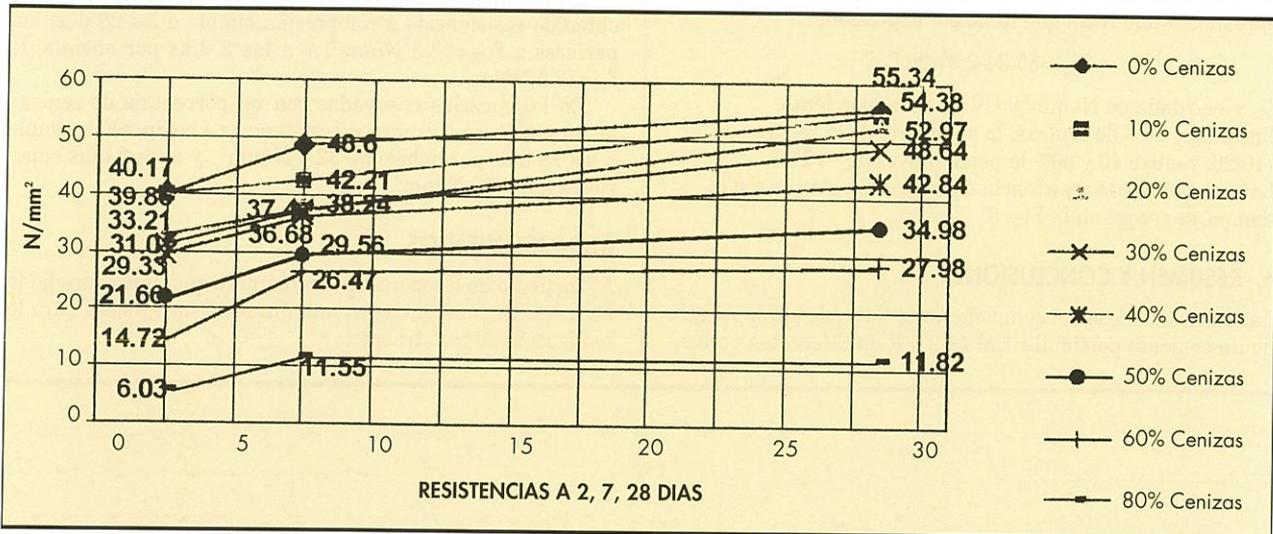


FIGURA 6. Evolución de la resistencia a compresión con el tiempo.

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE UN CEMENTO CEM I 52.5 R CON CENIZAS VOLANTES							
CENIZAS %	CONSISTENCIA NORMAL AGUA c.c.	FRAGUADO t <sub>if</sub> seg.	t <sub>ff</sub> seg.	V <sub>28</sub> m/s	f <sub>ft28</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>c28</sub> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>c2</sub> N/mm <sup>2</sup>
0	167	107	222.0	4364.0	8.2	55.3	40.2
20	157	130	230.0	4340.0	8.0	53.0	33.2
40	148	155	270.0	4188.0	6.6	42.8	29.3
60	136	180	350.0	3947.0	5.9	28.0	14.7
80	134	232	442.0	3461.0	2.3	11.8	6.0

t<sub>if</sub>= Tiempo de inicio de fraguado.

t<sub>ff</sub>= Tiempo de final de fraguado.

V<sub>28</sub>= Velocidad de propagación de ondas longitudinales medidas sobre probetas a los 28 días.

f<sub>ft28</sub>= Resistencia a la flexotracción medida sobre probetas a los 28 días.

f<sub>c28</sub>= Resistencia a compresión simple medida sobre probetas a los 28 días.

f<sub>c2</sub>= Resistencia a compresión simple medida sobre probetas a los 2 días.

TABLA 9.

$$f_{R28} = 8.23 - 0.18/20 \text{ CV}$$

Pero en las muestras con un contenido de cenizas en-

tre 20 y 60%, la resistencia a flexotracción disminuye más rápidamente, según una recta de pendiente:  $-1.1/20 \text{ CV}$

### 5.5. RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

Los valores de la resistencia a compresión simple, determinados a edades de 2, 7 y 28 días, se recogen en la Tabla 8 y en la Figura 5.

La resistencia a compresión simple determinada sobre probetas a 28 días, tiene un valor de  $q_c=55.34 \text{ N/mm}^2$  cuando no se utilizan cenizas, y un valor de  $q_c=11.82 \text{ N/mm}^2$  cuando se utilizan un 80% de cenizas (Tabla 8).

En el intervalo entre 0 y 20% de cenizas, la relación que existe entre la resistencia a compresión simple sobre probetas a 28 días ( $f_{c28}$ ), y el contenido de cenizas (CV), Fig. 4, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$f_{c28}=55.34-2.37/20 \text{ CV}$$

$f_{c28}$  viene dada en  $\text{N/mm}^2$  y CV en tanto por ciento. Entre 20 y 40% de cenizas, la pendiente de la recta es de  $-10/20$ ; y entre 40 y 80% la pendiente es de  $-16/20$ . La evolución de la resistencia a compresión simple con el tiempo, se recoge en la Fig. 6.

### 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Las características del conglomerante formado por la mezcla de un cemento portland CEM I 52.5 R en diferentes porcen-

tajes de cenizas volantes, entre 10 y 80%, se recoge en la Tabla 9.

Todas estas muestras cumplen las prescripciones exigidas en cuanto a principio y fin de fraguado.

En las mezclas con un 10 y un 20% de cenizas volantes, se obtuvieron resistencias a compresión simple a los 28 días superiores a  $f_{c28}=52.5 \text{ N/mm}^2$ , y a los 2 días superiores a  $f_{c2}=30 \text{ N/mm}^2$ .

En las mezclas con un 30 y un 40% de cenizas volantes, se han obtenido resistencias a compresión simple a los 28 días superiores a  $f_{c28}=42.5 \text{ N/mm}^2$ , y a los 2 días por encima de  $f_{c2}=20 \text{ N/mm}^2$ .

En las mezclas con un 50% de cenizas volantes, se han obtenido resistencias a compresión simple a los 28 días superiores a  $f_{c28}=32.5 \text{ N/mm}^2$ , y a los 2 días por encima de  $f_{c2}=13.5 \text{ N/mm}^2$ .

En las mezclas ensayadas con un porcentaje de cenizas de 60 y 80%, se obtuvieron resistencias a compresión simple a los 28 días por debajo de  $32.5 \text{ N/mm}^2$ , y a los 2 días superiores a  $f_{c2}=30 \text{ N/mm}^2$ .

### AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Cooperación Iberoamericana, que concedió la beca A.L.E. 2000 que tuvo una duración de 2 meses para la realización de este trabajo.



GEOTEYCO, S.A.

#### • ASISTENCIA TÉCNICA

#### • ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

#### • CONTROL DE CALIDAD

#### ENSAYOS DE CAMPO

- Sondeos Geotécnicos
- Ensayos con Piezocono
- Vano test
- Ensayo con Presiómetro
- Permeabilidad "in situ"
- Determinaciones inclinométricas

#### ENSAYOS DE LABORATORIO

- Hormigones
- Cementos y Aditivos
- Aceros
- Materiales bituminosos



1995: Urbanización Interior del Plan Parcial II-5 del Ensanche Este - Pavones



#### Oficina Central:

Pº de La Habana, 81  
28036 Madrid  
Tel.: 914 57 06 28  
Fax: 914 57 43 33  
e-mail: geoteyco@CTV.es

#### Laboratorio Central:

Pol. Ind. Valdonaire  
28960 Humanes (Madrid)  
Tel.: 916 90 11 80  
Fax: 916 90 24 62

Delegaciones Nacionales: Córdoba, Galicia, Vitoria.

Delegaciones Internacionales: Bélgica, Irlanda, Portugal, Grecia.