

Influencia de las cenizas volantes en las características del mortero cemento

ENRIQUE DAPENA GARCÍA (*); MÓNICA TAVARES MAZINA (**)

RESUMEN En este trabajo se recoge un estudio de las propiedades del mortero de cemento preparado con cantidades variables de cenizas volantes - 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 80%. El conglomerante está formado por el Cemento Portland CEM I 42,5 R/SR y cenizas volantes de carbón procedente de una central termoeléctrica española.

INFLUENCE OF THE FLY-ASH ON THE CHARACTERISTICS OF CEMENT MORTARS

ABSTRACT This paper refers to the properties of the cement mortar with admixture of variable quantities of the fly-ash - 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 80%. The conglomerates used are Cement Portland CEM I 42,5 R/SR and coal fly ash obtained from a spanish steam electric plant.

Palabras clave: Características; Mortero; Cemento; 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% con el tipo CEM IV/B.

Por otro lado, también existen cementos CEM IV/B tipo SR, es decir resistentes a los sulfatos y al agua del mar.

En este trabajo se pretende cuantificar la influencia de un tipo de cenizas determinado, procedente de la Central Termoeléctrica de Soto de la Ribera, en Asturias, sobre las propiedades del conglomerante, cuando se utilizan mezclas con un cemento resistente a la acción de sulfatos tipo CEM I 42,5 R/SR.

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 GRANULOMETRÍA DEL CEMENTO

La composición química y mineralógica del clinker utilizado para la fabricación del cemento utilizado y dado por el fabricante es la siguiente:

2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CLINKER

| | | |
|----------------------|--------------------------------|--------|
| Dióxido de silicio | Si O ₂ | 22.41% |
| Trióxido de aluminio | Al ₂ O ₃ | 4.13% |
| Trióxido de hierro | Fe ₂ O ₃ | 54% |
| Óxido de calcio | CaO | 64.62% |
| Óxido de magnesio | MgO | 1.37% |
| Trióxido de azufre | SO ₃ | 1.11% |

2.2. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DEL CLINKER

| | | |
|--------------------------------|-------------------|--------|
| Silicato tricálcico | C ₃ S | 57.01% |
| Silicato bicálcico | C ₂ S | 21.33% |
| Aluminato tricálcico | C ₃ A | 1.58% |
| Ferrito aluminato tetracálcico | C ₄ AF | 16.84% |

Se resalta el bajo contenido en aluminato tricálcico, inferior al 2%.

2.3. COMPOSICIÓN DEL CEMENTO PORTLAND CEM I 42,5 R/SR

| | |
|----------------|-----|
| Clinker: | 97% |
| Filler calizo: | 3% |

Además se utilizó un 4,3% de yeso como regulador de fraguado.

2.4. GRANULOMETRÍA DEL CEMENTO

En la tabla 1 se recogen los porcentajes que corresponden a distintos tamaños de granos, y en la figura 1, la curva granulométrica del cemento.

Se puede considerar como módulo de finura, tomando como menor tamaño de grano 1µ, un valor de 3,85.

3. CARACTERÍSTICAS DE LAS CENIZAS VOLANTES (EN 450/ 1994)

Las características medias de estas cenizas son las que que refleja la tabla A.

El índice de actividad resistente a los 28 días con un cemento CEM I 42,5 R/SR, utilizado en este trabajo, es del 75,3%.

4. ENSAYOS REALIZADOS

El objetivo del trabajo es determinar la influencia del contenido de un tipo de cenizas en las propiedades de un conglom-

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

(**) Ingeniera Civil. Universidad Federal de Pelotas, Brasil.

TABLA 1. CEM I 42,5 R/SR - Porcentaje que pasa.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| tamiz (micra) | 1 | 1,5 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 12 | 16 | 24 | 32 | 48 | 64 | 96 | 128 | 192 |
| % pasa | 6 | 7,5 | 11 | 16 | 22 | 32 | 39 | 53 | 61 | 77 | 86 | 95 | 99 | 100 | 100 | 100 |

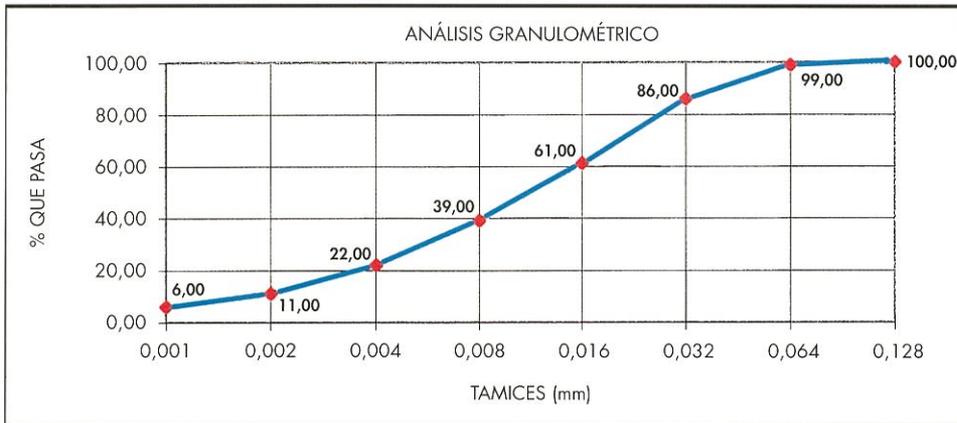


FIGURA 1. Curva granulométrica del cemento CEM I 42,5 R/SR utilizado en la preparación del conglomerante.

| | ESPECIFICACIONES |
|--|------------------|
| | seg UNE-EN 450 |
| PÉRDIDA AL FUEGO (%) | < 5,0 |
| ANÍHIDRIDO SULFÚRICO (%) | < 3,0 |
| ÓXIDO DE CALCIO CaO (%) | — |
| ÓXIDO DE ALUMINIO Al ₂ O ₃ (%) | — |
| ÓXIDO DE HIERRO Fe ₂ O ₃ (%) | — |
| CLORUROS [cl ₋] | < 0,10 |
| DENSIDAD MEDIA (Kg/m ³) | — |
| ESTAB. DE VOLUMEN (%) | < 10,0 |
| ÍNDICE DE ACTIVIDAD (%) 28 DÍAS | (I) > 75,0 |
| ÍNDICE DE ACTIVIDAD (%) 90 DÍAS | > 85,0 |

(I) Este índice de actividad resistente se ha obtenido con un cemento Portland CEM I 42,5 R/SR.

TABLA A. Características medias de las cenizas volantes (EN 450/1994).

merante constituido por el cemento CEM I 42,5 R/SR, en particular, determinar la variación del 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 simples 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 2, y representados en la Fig. 2.

El cemento, sin cenizas, necesita 156,5 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. 2).

La relación que existe entre la cantidad de agua para preparar la pasta de consistencia normal (W) y el contenido de cenizas (CV), Fig. 2, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$W = 156,5 - 27 CV/100$$

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 130 min, y en el cemento con un 80% de cenizas es 210 (tabla 4). La relación que existe entre el tiempo de inicio (t_{if}) y el fin de fraguado (t_{ff}) y el contenido de cenizas (CV) en el intervalo entre 0 y 80% de cenizas, Fig. 3, viene dada las expresiones:

$$t_{if} = 130 + CV$$

$$t_{ff} = 184 + CV$$

El tiempo entre el principio y fin de fraguado se mantiene prácticamente constante, 54 minutos, al aumentar el contenido de cenizas.

5.3. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS

La velocidad de propagación de ondas determinada sobre probetas a los 28 días, tiene un valor de 4181 m/seg cuando

INFLUENCIA DE LAS CENIZAS VOLANTES EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL MORTERO CEMENTO

| | I-42,5 | 10% CV | 20% CV | 30% CV | 40% CV | 50% CV | 60% CV | 80% CV |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AGUA/500 | 156,5 | 153,5 | 151 | 148 | 145,5 | 143 | 140 | 134 |
| REL A/C | 0,313 | 0,307 | 0,302 | 0,296 | 0,291 | 0,286 | 0,28 | 0,268 |

TABLA 2. Contenido de agua necesaria para conseguir pastas de consistencia normal.

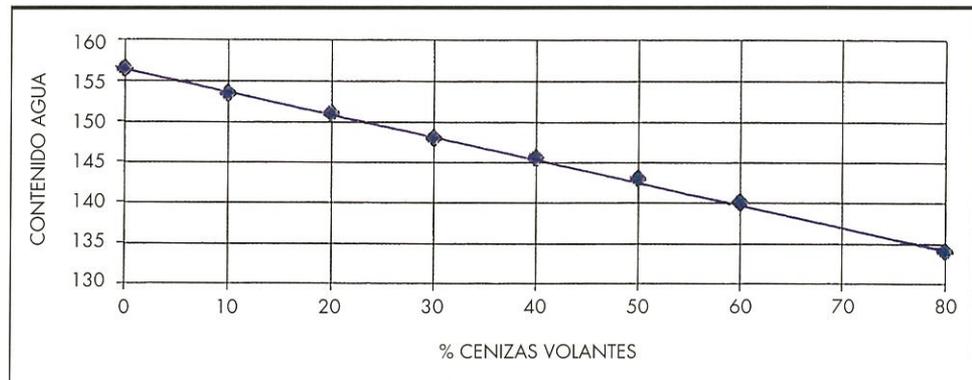


FIGURA 2. Influencia del contenido de cenizas volantes en la cantidad de agua necesaria para conseguir pastas de consistencia normal.

| | I-42,5 | 10% CV | 20% CV | 30% CV | 40% CV | 50% CV | 60% CV | 80% CV |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| INICIO DE FRAG./MIN | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 182 | 190 | 190 |
| FINAL DE FRAG./MIN | 184 | 190 | 200 | 210 | 220 | 232 | 240 | 260 |
| TIEMPO FRAG./MIN | 54 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

TABLA 3. Tiempo de inicio y fin de fraguado del conglomerante.

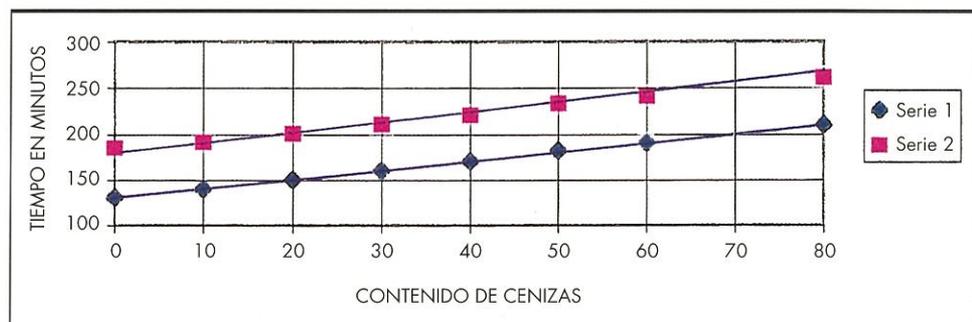


FIGURA 3. Evolución del tiempo de principio y fin de fraguado con el contenido de cenizas.

| Vel.m/s | | CEM I-42,5 | 10% CV | 20% CV | 30% CV | 40% CV | 50% CV |
|---------|---------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2 días | serie 1 | 3707,0 | 3514,4 | 3188,0 | 2743,4 | 2387,7 | 1900,0 |
| 7 días | serie 2 | 3980,0 | 3755,5 | 3350,5 | 2955,5 | 2566,6 | 2156,5 |
| 28 días | serie 3 | 4181,6 | 3902,4 | 3524,2 | 3186,6 | 2786,3 | 2350,2 |

TABLA 4. Resultados del ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas.

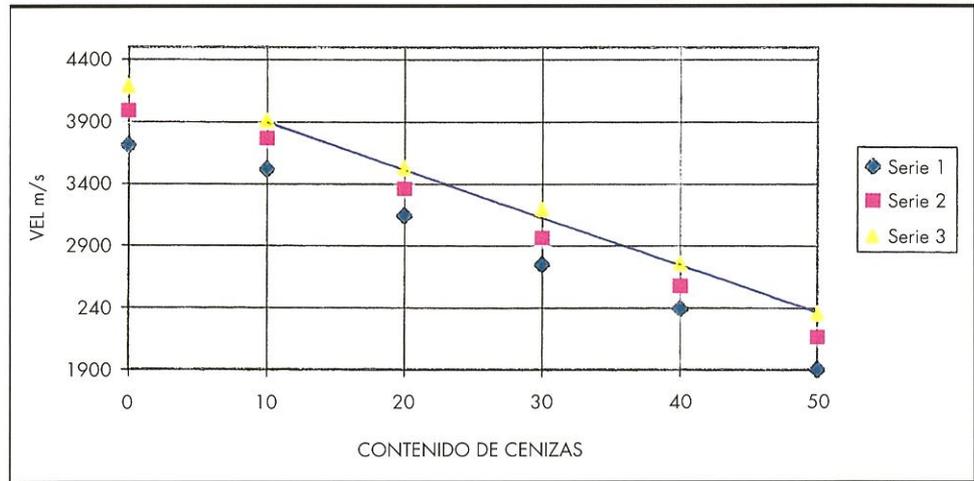


FIGURA 4. Variación de la velocidad de propagación de ondas con el contenido de cenizas.

| R_f N/mm ² | | CEM I-42,5 | 10% CV | 20% CV | 30% CV | 40% CV | 50% CV |
|-------------------------|---------|------------|---------|----------|----------|---------|---------|
| 2 días | serie 1 | 4,13422 | 3,47187 | 2,975625 | 1,858875 | 1,29625 | 0,49062 |
| 7 días | serie 2 | 6,57437 | 5,1025 | 4,69843 | 4,030125 | 3,64343 | 3,09812 |
| 28 días | serie 3 | 8,04625 | 6,37813 | 5,830625 | 5,3157 | 4,89062 | 4,14718 |

TABLA 5. Resultados del ensayo de resistencia a flexo-tracción.



FIGURA 5. Variación de la resistencia a flexo-tracción con el contenido de cenizas.

no se utilizan cenizas y un valor de 2.350 m/seg, cuando se utilizan un 50% de cenizas. (Tabla 4).

En el intervalo entre 10 y 50% de cenizas la relación que existe entre la velocidad de propagación de ondas sobre probetas a los 28 días (V_{28}) y el contenido de cenizas (CV), Fig. 4, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$V_{28} = 4.290 - 3.980 \text{ CV}/100$$

5.4. RESISTENCIA A FLEJO-TRACCIÓN

Los valores de la resistencia a flexotracción, determinados sobre probetas prismáticas de mortero de $4 \times 4 \times 16$ cm, a edades de 2, 7 y 28 días, se recogen en la Tabla 5 y en la Fig. 5.

En el intervalo entre 10 y 50% de cenizas, la relación que existe entre la resistencia a flexoccción (f_{ft28}) sobre probetas a los 28 días, y el contenido de cenizas (CV), Fig. 5, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$f_{ft} = 6,935 - 5,576 \text{ V}/100$$

f_{ft} viene dada en N/mm² y CV en tanto por ciento.

5.5. RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

Los valores de la resistencia a compresión simple, determinados a edades de 2, 7, y 28, se recogen en la Tabla 6 y en la Fig. 6.

La resistencia a compresión simple determinada sobre probetas a 28 días, tiene $q_e = 60,2 \text{ N/mm}^2$ cuando no se utilizan cenizas, y un valor de $q_e = 31 \text{ N/mm}^2$ cuando se utilizan un 50% de cenizas. (Tabla 6).

En intervalo entre 0 y 40% de cenizas, la relación que existe entre la resistencia a compresión simple sobre probetas a los 28 días (f_{e28}), y el contenido de cenizas (CV), Fig. 6, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$f_{e28} = 60,209 - 50,11 \text{ CV}/100$$

f_{e28} viene dada en N/mm^2 y CV en tanto por ciento.

La evolución de la resistencia a compresión simple con el tiempo, se recoge en la Fig. 7.

Las probetas fabricadas con un contenido en cenizas a partir del 60% se desmoronaban.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha utilizado el Cemento Portland CEM I 42,5 R/SR con un contenido en C_3S de 57,01%, en AC_3 de 1,58% y cenizas volantes con un índice de actividad resistente con el cemento CEM I 42,5 R/SR, a los 28 días, del 75,3.

Se ha mezclado este cemento en porcentajes variables de ceniza de entre el 10 el 90% y se ha estudiado el comportamiento de estas mezclas, obteniendo los resultados que se reflejan en la tabla B.

1. La adición de estas cenizas volantes disminuye el contenido de agua necesario para conseguir pasta de consistencia normal. La relación que existe entre el volumen de agua necesario para obtener pasta de consistencia normal (W) la cantidad de cenizas (CV) en el intervalo entre 0 y 80% de cenizas se aproxima a una recta que tiene por expresión:

| $R_c \text{ N/mm}^2$ | | CEM I-42,5 | 10% CV | 20% CV | 30% CV | 40% CV | 50% CV |
|----------------------|---------|------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 2 días | serie 1 | 37,34537 | 33,6055 | 29,50343 | 22,05906 | 18,4905 | 10,98394 |
| 7 días | serie 2 | 54,26762 | 42,8635 | 38,49306 | 33,61743 | 28,55181 | 21,42919 |
| 28 días | serie 3 | 60,20887 | 53,6545 | 49,88425 | 45,36015 | 40,16493 | 31,04231 |

TABLA 6. Resultados del ensayo de resistencia a compresión simple.

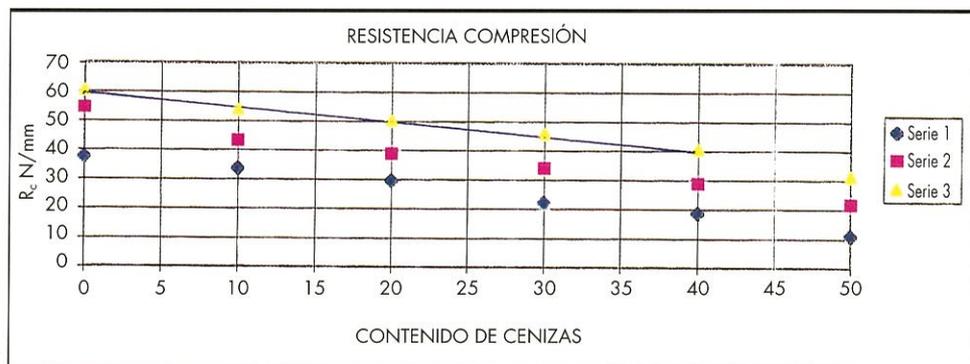


FIGURA 6. Variación de la resistencia a compresión simple con el contenido de cenizas.

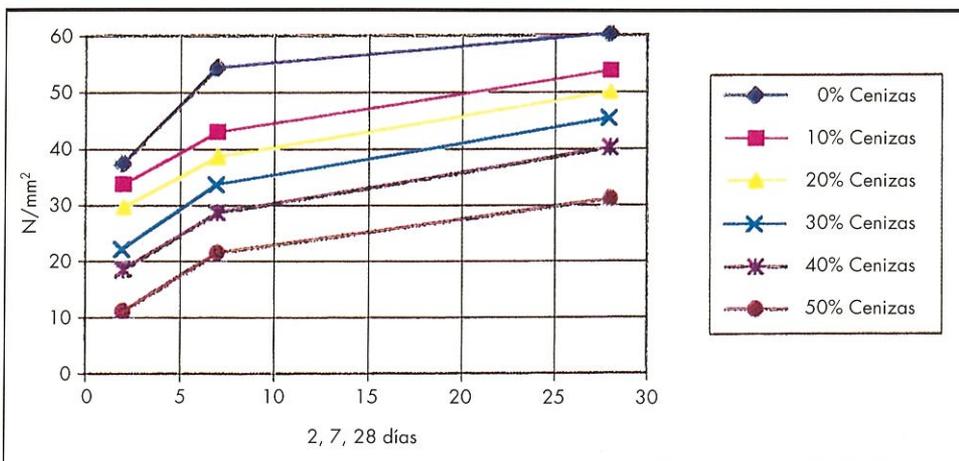


FIGURA 7. Evolución de las resistencias con el tiempo.

| % de cenizas | 0% | 20% | 30% | 50% |
|--|----------|----------|---------|---------|
| Agua consistencia normal | 156,5 | 151 | 148 | 143 |
| Principio fraguado - minutos | 130 | 150 | 160 | 182 |
| Fin de fraguado - minutos | 184 | 20 | 210 | 232 |
| Velocidad de propagación - m/s a los 28 días | 4181,6 | 3524,2 | 3186,6 | 2350,2 |
| R_f - N/mm ² a los 28 días | 8,04625 | 5,830625 | 5,3157 | 4,14718 |
| R_f - N/mm ² a los 28 días | 60,20887 | 49,88425 | 45,3601 | 31,0423 |

TABLA B. Comportamiento de las mezclas de cemento con porcentajes variables de cenizas.

$$W = 156,5 - 27 \text{ CV}/100$$

La relación agua/conglomerante en la pasta de consistencia normal varía de 0,31 cuando no se utilizan cenizas un 80% de cenizas.

- La adición de cenizas volantes retrasa el inicio y fin de fraguado del conglomerante. Las relaciones que existen entre el tiempo de fraguado y el contenido de cenizas son $t_{if} = 130 + \text{CV}$, $t_{ff} = 184 + \text{CV}$. El tiempo entre principio y fin de fraguado se mantiene en 54 minutos.
- La adición de cenizas disminuye la velocidad de propagación de ondas. La relación que existe entre la velocidad de propagación de ondas sobre probetas a los 28 días (V_{28}) y el contenido de cenizas (CV), en el intervalo entre el 10 y el 50%, se aproxima a una recta que tiene por expresión

$$V_{28} = 4.290 - 3.950 \text{ CV}/100$$

- La adición de cenizas disminuye la resistencia a flexotracción. La relación que existe entre la resistencia a flexotracción sobre probetas a los 28 días (f_{f28}) y el conte-

nido de cenizas (CV), en el intervalo entre el 10 y el 50%, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$f_{f28} = 6,935 - 5,576 \text{ CV}/100$$

- La adición de cenizas disminuye la resistencia a compresión simple. La relación que existe entre la resistencia a compresión simple sobre probetas a los 28 días (f_{c28}) y el contenido de cenizas (CV) en el intervalo entre el 0 y 40% de cenizas, se aproxima a una recta que tiene por expresión:

$$f_{c28} = 60,209 - 50,11 \text{ CV}/100$$

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Cooperación Iberoamericana, que concedió una beca Intercampus que tuvo una duración de dos meses, para la realización de este trabajo.

A D. Fernando Varela, profesor de Materiales y Edificación en EUITOP por la importante colaboración prestada para el desarrollo de este trabajo.