

# Estudios sobre cenizas volantes: separación balística de una ceniza volante

## *A study on fly ash: ballistic separation of a fly ash*

EDUARDO PERIS MORA, JORDI PAYÁ y JOSÉ MONZÓ, Drs. en Ciencias Químicas  
E.T.S.C.C. y P., Departamento de Ingeniería de la Construcción  
Universidad Politécnica de Valencia. VALENCIA/ESPAÑA

Fecha de recepción: 18-III-91

### RESUMEN

*El objeto de este estudio es la caracterización de las diferentes fracciones de distintas granulometrías y tamaños obtenidas de una ceniza volante española producida en la central termoeléctrica de Andorra (Teruel).*

*Se han estudiado las propiedades físicas (distribución granulométrica, densidad) químicas (composición química) y mineralógicas (difracción de rayos X y espectroscopía infrarroja) de dichas fracciones.*

*La técnica de separación aplicada es la "balística" (tiro horizontal), de la que se obtienen cuatro fracciones. Se usó un túnel aerodinámico con corriente horizontal de aire. La efectividad de la separación conseguida fue satisfactoria para nuestros objetivos.*

*Los resultados obtenidos son interesantes desde dos puntos de vista: Por una parte, la simplicidad del método permite aplicarlo para posteriores estudios en cantidades importantes. Por otra parte, las diferencias en las distribuciones granulométricas y su naturaleza vítrea nos permitirá diseñar un estudio posterior acerca de la influencia de cada fracción sobre las propiedades mecánicas del hormigón en el que se emplee como sustituyente del cemento.*

### SUMMARY

*The object of this study is the characterization of several sized fractions from a "spanish fly ash" originating in the thermoelectric power plant in Andorra (Teruel).*

*Physical (size distributions, densities) chemical (chemical composition) and mineralogical characteristics (X-ray diffractograms and infrared spectra) for those sized fractions have been analyzed.*

*Initial fly ash was ballistically separated (horizontal draft) into four fractions using an aerodynamic tunnel with horizontal air current. The separation effectivity was adapted for our later studies.*

*The results obtained were interesting: in the first case, the simplicity of the separation method, by this way we will be able to use it for further studies on sized fractions. On the other hand, differences on granulometric distributions and vitreous nature will allow us to study the effect of several fractions on mechanic properties of concrete with them.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Las cenizas volantes provenientes de las centrales térmicas han pasado de ser uno de los subproductos del sector energético, de gestión incómoda, a convertirse en un ventajoso material de construcción. Sólo en la central térmica de Andorra, una de las más grandes de España, se producen 134 toneladas/hora de escorias diversas, parte de las cuales son cenizas volantes recogidas en los sistemas de filtros; aparte de las retenidas, unos 620 kg/hora de cenizas volantes son emitidas a través de la chimenea.

### 1. INTRODUCTION

*Fly ashes originated in thermoelectric power plants have been converted from one energy sector by-product, with difficult arrangement, to an interesting building material. So, in the thermoelectric power plant of Andorra (Teruel), one of the biggest in Spain, 134 ton/hour of various slags are produced, part of which are fly ashes collected by the filtering devices; moreover, 620 Kg/hour of fly ashes leak out to the surroundings.*

En un principio, y debido a la naturaleza de esas cenizas volantes, éstas se usaron principalmente como aditivo en hormigones; la adición modifica una serie de propiedades como la demanda de agua, trabajabilidad, propiedades reológicas, etc. (1,2), debido a que la ceniza volante actúa como lubricante sólido, e incluso se podía conseguir un cierto ahorro económico. En la actualidad, por su carácter puzolánico, se usan como sustitutivo de parte del cemento. Su consumo se está incrementando llegando a constituir una práctica habitual, que sin embargo suele ser aplicada con criterios más bien empíricos. Por ello, se debería considerar la necesidad de proporcionar una suficiente base teórica a partir de los datos experimentales.

Las puzolanas, naturales o artificiales, se caracterizan por su capacidad para reaccionar con la cal libre de los conglomerantes dando lugar a diferentes compuestos (cristalinos o vítreos) que aumentan a largo plazo las resistencias mecánicas. La capacidad de reaccionar de las puzolanas reside en tres características que son:

- a) Composición química adecuada.
- b) Carácter vítreo.
- c) Superficie específica apropiada.

La reacción puzolánica solamente se produce con una composición química adecuada, relacionada con la reacción ácido/base de Lewis con la cal (3), además del carácter vítreo. La activación del mecanismo de la reacción puzolánica se produce cuando los aniones hidróxido reaccionan con la superficie vítrea de las partículas (4). Las cenizas volantes contienen aproximadamente un 75-90 % de materia no cristalina o contenido vítreo (3). La eficacia final de esta reacción sólo será posible si se dispone de superficie específica suficiente, habida cuenta de que la reacción no se desarrolla habitualmente sino en la superficie externa de la partícula.

Un análisis preciso de estos materiales realizados en profundidad parece que deba ser el punto de partida previo a cualquier otra consideración tecnológica a partir de datos experimentales. Puesto que se trata de un producto granular, el primer análisis que debiera realizarse es precisamente el de la granulometría y el de la caracterización físico-química de las diferentes fracciones; sólo entonces podremos interpretar la contribución de cada una de ellas en el conjunto de las propiedades de la puzolana.

## 2. SEPARACIÓN DE LA CENIZA VOLANTE

La alta temperatura y el arrastre rápido de las partículas con los gases de chimenea propician

*Initially, because of the nature of fly ashes, they were mainly used as additives concretes. So, some properties of cement and concrete such as water demand, workability, rheological properties, etc. (1,2), are modified, due to fly ash act as solid lubricant, and we may even obtain a certain economic saving. Currently, owing to pozzolanic activity, they are used for replacing part of the cement. Their consumption is increasing which is now a common practice, but its application is carried out with empiric criteria. Therefore, one should consider that it is necessary to provide theoretical knowledge on the basis of experimental data.*

*Pozzolans, natural or artificial, are characterized by their reactive ability towards lime, yielding different compounds (with crystalline or vitreous structures), increasing long-dated mechanic strengths. Pozzolanic activity of fly ashes depends on the following characteristics:*

- a) Optimum composition.*
- b) Vitreous nature.*
- c) Appropriate specific surface.*

*Pozzolanic reaction only takes place when chemical composition is appropriate [related to Lewis acid/base reaction with free lime (3)], and with a vitreous nature [the triggering mechanism for pozzolanicity takes place when hydroxide anions react on the glassy surface of the particles (4)]. Fly ashes contain approximately 75-90 % of non crystalline matter or glass content (3). The final effectivity of this reaction will only be carried out when there is enough specific surface, because the reaction usually takes place on external surface of the fly ash.*

*Accurate analysis of this substance is considered as an initial starting point for considering any technological application from empirical data. Because of the granular nature of fly ashes, the first analysis that may be carried out is the study of the physical and chemical properties of some sized fractions; then, we will be able to interpret which is the contribution of those on the pozzolanic properties.*

## 2. SEPARATION OF FLY ASH

*High temperature and rapid dragging of the particles and the combustion gases into the*

unas condiciones favorables para el desarrollo de la forma esférica, consecuencia de tensión superficial manifiesta durante la etapa de fase líquida. La observación en el microscopio óptico permite confirmar este punto: la forma general de las partículas se aproxima en efecto al de esferas casi perfectas.

### 2.1. Granulometría por tamizado

Las técnicas convencionales de separación se basan en la retención sobre tamices. Sin embargo, las fracciones más finas plantean diversos problemas: los tamices son muy caros y solamente es aplicable el tamizado de pequeñas fracciones (gramos) de materia, la tarea es delicada y la durabilidad de las mallas corta. Además, el proceso se suele hacer en húmedo por lo que la humedad altera los materiales que vayan a ser sometidos a posteriores estudios. Es ésa la razón por la que nuestras preferencias se orientan hacia la separación en seco.

### 2.2. Separación balística

La aplicación de un método de separación sin humedad (método seco) no altera en modo alguno la ceniza volante.

El método ensayado se basa en el sencillo mecanismo del "tiro horizontal"; una partícula lanzada horizontalmente, en el vacío, describiría una trayectoria según:

$$y = \frac{-1}{2} g \frac{x^2}{V_0^2}$$

donde y es la altura, x es la distancia de alcance y g la gravedad.

En la situación real, una propulsión por corriente de aire horizontal arrastrará al conjunto de partículas a diferente velocidad de acuerdo con las respectivas condiciones de densidad y tamaño. La velocidad límite de caída es:

$$V_l = \frac{2}{9} \frac{r^2 \cdot g}{n} (p - p')$$

donde r es el radio de la partícula, n es la viscosidad del aire, p la densidad de la partícula y p' la densidad del aire.

De este modo:

$$x = \frac{V_l - V_0}{V_l} y$$

*chimney create a favourable atmosphere for the development of the spheric morphology of the particles, due to surface tension during the liquid phase stage. Optic microscopy techniques permit us the confirmation: the most common shape of the particles is the spheric one.*

### 2.1. Sieve method

*Conventional techniques are based on retention by sieves. However, it is of course true that the finest fractions create several problems: very expensive sieves, little quantities (grammes), delicate task and low durability of the sieves. Moreover, the procedure was usually carried out in humid conditions and, consequently, the material nature may be changed for their later use. This being the reason for our interest in humid free fly ash separating.*

### 2.2. Ballistic separation

*If a method without humidity (dry method) is applied, materials are not be changed for later uses.*

*The tested method is based on the simple mechanism of the horizontal draft. When a particle is horizontally drafted (with initial speed  $V_0$ ), in vacuum, the described trajectory is:*

*where y is the height, x is the extended distance and g is the gravity.*

*In real conditions, particles are moved by the horizontal air current with different speeds, depending on their density and size. The fallen speed limit is:*

*where r is the particle radius, n the air viscosity, p the particle density and p' is the air density.*

*In this way:*

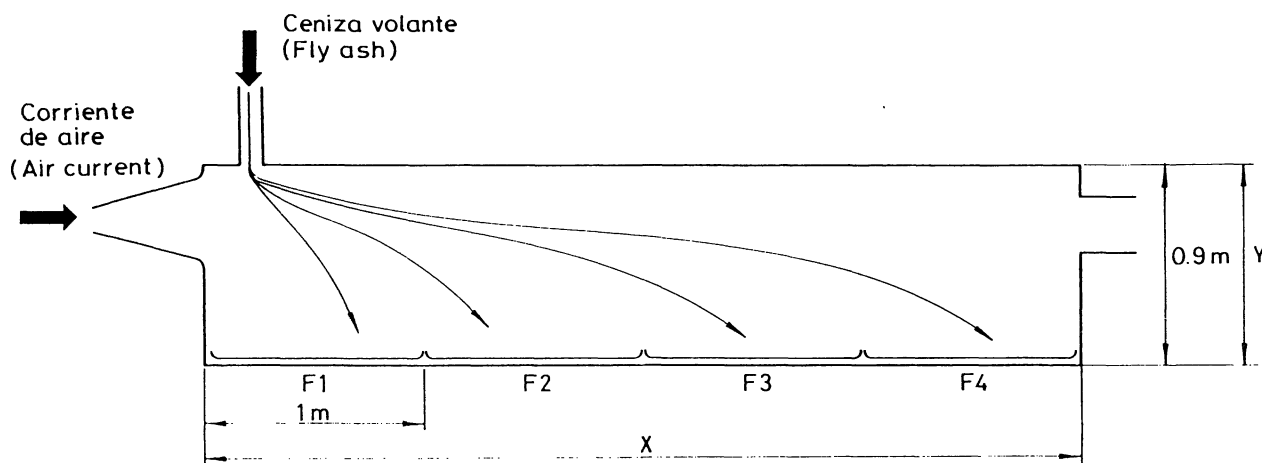


Fig. 1.—Geometría del túnel aerodinámico y trayectorias de las partículas.

Fig. 1.—Geometry of the aerodynamic tunnel and trajectories of the particles.

Atribuyendo un valor fijo a  $y$ , podemos afirmar que:

Let us suppose that  $y$  is a constant, we can conclude that:

$$x = f(r, p)$$

Esta última expresión servirá para disponer la geometría del aparato de separación (Figura 1).

We can use the last expression to determine the geometry of the separation device (Figure 1).

### 3. MÉTODO EXPERIMENTAL

El túnel aerodinámico construido tiene forma de paralelepípedo (altura de 0,9 metros, longitud total de 4 metros y 0,5 m de ancho). La separación se lleva a cabo por recogida de fracciones en los intervalos 0-1 m; 1-2 m; 2-3 m y 3-4 m de recorrido horizontal. Existe un conducto final por el que escapa la fracción más fina. Como es previsible, por tanto, los cortes en la distribución prevén la recogida de distribuciones continuas correspondientes a los diámetros de partícula que cubren la totalidad del intervalo de longitud del túnel.

Sobre cada una de las fracciones, así como sobre la muestra global ha sido realizado un análisis granulométrico, análisis químico y mineralógico (difracción de rayos X y espectroscopía infrarroja), determinación de densidades y microscopía óptica.

Las distribuciones granulométricas de cada fracción se llevaron a cabo usando un instrumento de difracción láser (Malvern Master Sizer). Se determinaron por espectroscopía de absorción atómica de llama (Perkin-Elmer 5000) el calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro, mientras que el azufre, silicio y aluminio se analizaron por métodos gravimétricos. Los difractogramas de rayos X se registraron con un difractor Siemens D-500, usando radiación

### 3. EXPERIMENTAL SECTION

The constructed aerodynamic tunnel has a parallelepipedic form (height 0.9 meters; length 4 meters; width 0.5 meters). We collected the fractions for the following extended distances: 0-1 m, 1-2 m; 2-3 m; and 3-4 m. At the end of the tunnel, there is a tube through which the finest fraction leak. As predicted, in the collection process, the distribution of the particles is continuous, by this way fly ashes totally cover the tunnel length.

These four fractions and the initial fly ash have been analyzed: granulometric studies, chemical and mineralogical (X-Ray diffraction and infrared spectroscopy) composition, density and optic microscopy.

Particle size distribution of each sized fraction were obtained using a laser diffraction instrument (Malvern Master Sizer). Calcium, sodium, magnesium, potassium and iron were determined by flame atomic absorption spectroscopy (Perkin-Elmer 5000), whereas sulphur, silicon and aluminium contents were measured by gravimetric methods. X-ray diffractograms were registered with a Siemens D-500 Diffractometer using Cu ( $K\alpha_1$ ,  $K\alpha_2$ ) radiation. IR Beckman spectrometer

de Cu ( $K\alpha_1$ ,  $K\alpha_2$ ). Los espectros de infrarrojo se registraron en un espectro IR Beckman; las muestras se prepararon usando pastillas de KBr. Las microfotografías ópticas por transmisión se realizaron con un microscopio Zeiss II.

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1. Granulometría

Se realizó la separación de la ceniza original en cuatro fracciones: F1, F2, F3 y F4. Los porcentajes obtenidos (en peso) se muestran en la Figura 2.

was used to registry infrared spectra; preparation samples was carried out using KBr pellets. Photomicrographs by tranmitted light were made with Zeiss II microscope.

#### 4. RESULTS

##### 4.1. Granulometric studies

Starting from original fly ash, four fractions were separated into fractions: F1, F2, F3 and F4. The percentage is obtained (in weight) are shown in Figure 2.

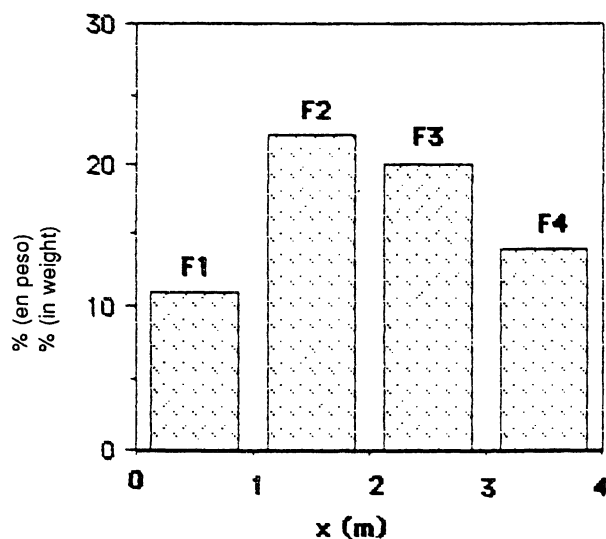


Fig. 2.—Porcentajes (en peso) de las fracciones separadas.

Fig. 2.—Percentages (in weight) for separated fractions.

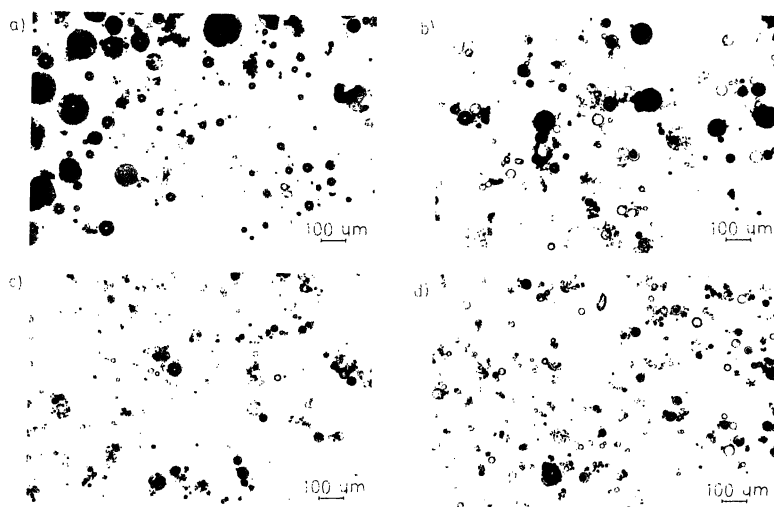


Fig. 3.—Microfotografías representativas para las cuatro fracciones separadas: a) Fracción F1; b) Fracción F2; c) Fracción F3; y d) Fracción F4.

Fig. 3.—Representative microphotographs for the four separated fractions: a) F1 Fraction; b) F2 Fraction; c) F3 Fraction; and d) F4 Fraction.

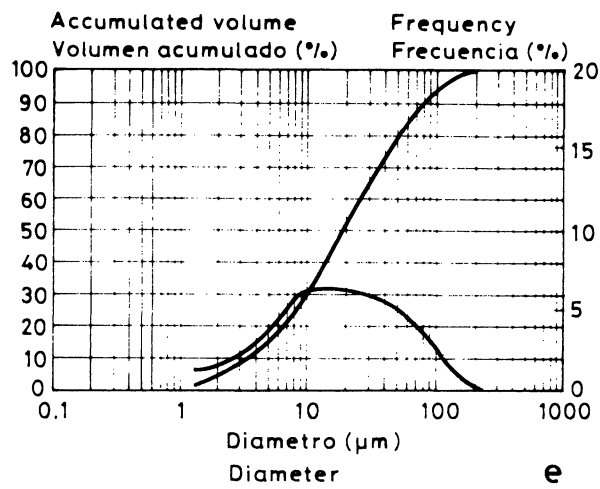
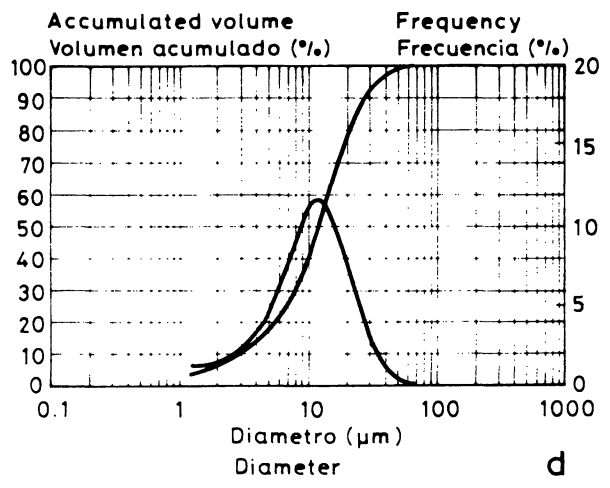
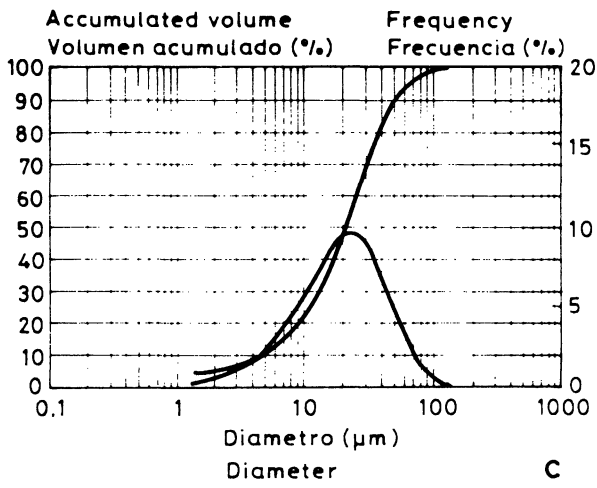
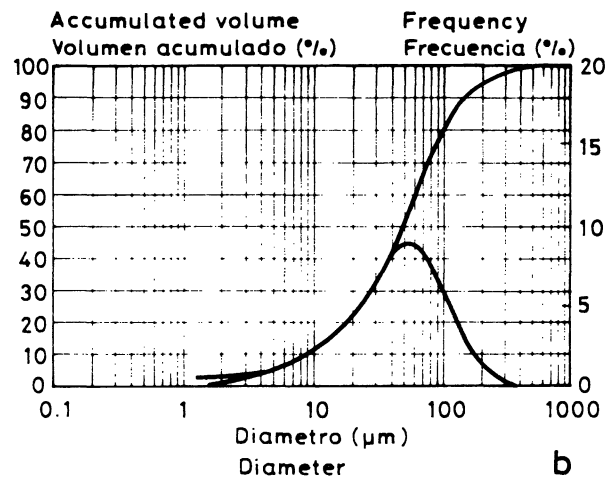
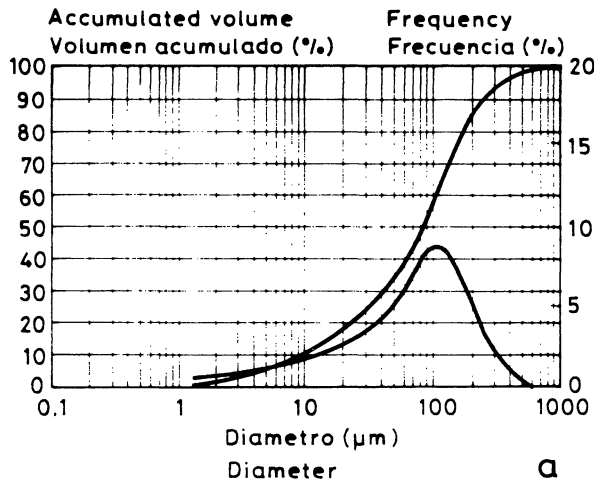


Fig. 4.—Distribuciones granulométricas: a) Fracción F1; b) Fracción F2; c) Fracción F3; d) Fracción F4; y e) Ceniza volante original.

Fig. 4.—Particle size distributions curves: a) F1 Fraction; b) F2 Fraction; c) F3 Fraction; d) F4 Fraction; and e) Initial fly ash.

Cada fracción fue observada directamente por microscopio óptico. La figura 3 muestra fotografías representativas de cada una de las fracciones. La mayor parte de las partículas tienen forma esférica ( $1 \mu\text{m} < \text{diámetro} < 100 \mu\text{m}$ ), y son translúcidas en su mayoría, excepto algunas oscuras. Las partículas gruesas (diámetro  $> 100 \mu\text{m}$ ) son de tipo vesicular e irregulares, como ya había descrito Diamond (5).

El análisis granulométrico (Figuras 4a a 4e) ofrece una distribución de tipo simétrico casi normal con ligero desplazamiento a la izquierda, lo que parece indicar una mayor eficacia en la separación de las fracciones más finas que de las gruesas (probablemente, las partículas finas son arrastradas por las más gruesas en su caída).

En la Tabla I se recogen datos granulométricos acerca de los diámetros medios volumétricos ( $d_v$ ), de los diámetros  $d_p$  para las fracciones del 20 %, 50 % y 90 %, así como una medida de la dispersión de la distribución (desviación típica  $\sigma$ ). La granulometría de la ceniza volante inicial (C) muestra una distribución acorde con lo que es frecuente en otras de diferente procedencia (6).

*Each fraction was observed under optic microscopy. Figure 3 shows representative photographs in each fraction. The majority of the particles are spheric ( $1 \mu\text{m} < \text{diameter} < 100 \mu\text{m}$ ), and the particles are translucent except some dark coloured ones. Coarse particle (diameter  $> 100 \mu\text{m}$ ) are more commonly vesicular and highly irregular in outline as Diamond reported (5).*

*Granulometric curves (Figures 4a to 4e) show normal symmetric distributions. Particle size distribution curves for separated fractions are skewed to the left. This feature indicates that the separation efficiency is better for fine particles than the coarse ones (probably fine particles are "carried away" by coarse particles in the separations process).*

*Table I shows granulometric data on medium volumetric diameter ( $d_v$ ), the diameter for 20 %, 50 % and 90 % ( $d_p$ ) and the curve width (typical deviation). Granulometric data for initial fly ash (C) is comparable to other spanish ones (6).*

TABLA I TABLE I  
Datos de las distribuciones granulométricas (ceniza volante original y fracciones)  
[Granulometric data (initial fly ash and sized fractions)]

	C	F1	F2	F3	F4
$d_v$	32,45	108,03	63,63	25,45	14,56
$d_p$ (10 %)	3,76	8,89	9,03	4,74	3,22
$d_p$ (50 %)	18,72	85,18	48,28	20,54	12,37
$d_p$ (90 %)	79,90	232,42	132,32	50,93	27,26
$\sigma$	4,07	2,62	2,55	2,25	1,94

TABLA II TABLE II  
Porcentajes acumulativos (en volumen) de la ceniza inicial y las fracciones  
[Acumulative percentajes (in volume) for initial fly ash and sized fractions]

Diámetro (Diameter)	% en volumen (% in volume)				
	C	F1	F2	F3	F4
20 $\mu\text{m}$	47	82	77	40	21
45 $\mu\text{m}$	26	70	54	14	2
90 $\mu\text{m}$	8	47	22	1,5	0,1

Los valores de las desviaciones típicas muestran claramente el alto grado de eficacia en la separación: los valores de  $\sigma$  son significativamente menores que el de la ceniza inicial. Por otra parte, en el proceso de separación se obtuvieron valores de  $d_v$  muy diferentes para las cuatro fracciones. Así, el valor de  $d_v$  para la fracción más fina (F4) es  $14,56 \mu\text{m}$ , la mitad que el de la ceniza volante original ( $d_v = 32,45 \mu\text{m}$ ), mientras que para la fracción más gruesa (F1) dicho valor es tres veces más grande.

La Tabla II muestra los porcentajes acumulativos (en volumen). Ahí se puede observar que los porcentajes para  $90 \mu\text{m}$  son insignificantes en las fracciones F3 y F4. Para la ceniza original encontramos dicho valor entre las fracciones F2 y F3.

#### 4.2. Densidades

Las densidades reales de las cenizas españolas suelen estar comprendidas entre los valores  $2,0$  y  $2,9 \text{ g/cm}^3$  (6), y la densidad de la ceniza estudiada en nuestro trabajo está dentro de ese intervalo. La Tabla III muestra las densidades reales obtenidas para las fracciones analizadas. A pesar que las densidades de las fracciones gruesas son sensiblemente mayores, las diferencias son lo suficientemente pequeñas como para suponer que las distancias que alcanzan las partículas en el proceso de separación son solamente función de su radio [ $x = f(r)$ ] e independientes de la densidad.

#### 4.3. Composición química

Las composiciones químicas de la ceniza volante inicial y de las diferentes fracciones se presentan en la Tabla IV (datos referidos a muestra seca). Los datos son acordes con los presentados en otras referencias para la composición de otras cenizas volantes españolas (6,7). Vemos que los porcentajes de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{SO}_3$  aumentan con el grado de finura de las fracciones, mientras que el contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  es mayor en las fracciones gruesas. Existe una manifiesta diferencia entre la composición media ponderada de las fracciones recolectadas y la de la ceniza volante original: esto es atribuible a que existe una fracción mucho más fina que escapa del túnel y que será objeto de análisis y discusión en futuras investigaciones en marcha.

La mayor concentración de álcalis en la fracción fina tiene un doble interés que abre camino a futuras investigaciones. Por una parte explicaría que las cenizas conteniendo mayores porcentajes de álcali adopten dimensiones menores, lo que implica una menor tensión superficial en la gota líquida que formará al solidificar la partícula de ceniza en el hogar y la chimenea del horno;

*Typical deviation values clearly show high separation efficiency:  $\sigma$  values for the four fractions are significantly lower than for the initial fly ash. On the other hand, in the separating process  $d_v$  values very different for the four fractions were obtained. So, for the finest fraction (F4) the  $d_v$  is  $14.56 \mu\text{m}$  and is half from the starting fly ash ( $d_v = 32.45 \mu\text{m}$ ), whereas for the coarse fraction (F1) is three times greater.*

*Table II shows the accumulative percentages (in volume). In this table F3 and F4 fractions percentages at  $90 \mu\text{m}$  are negligible. Initial fly ash is between F2 and F3 fractions.*

#### 4.2. Density

*Real densities for spanish fly ashes are in the range  $2.0$ - $2.9 \text{ g/cm}^3$  (6), and the ed fly ash density is in this range. Table III shows real densities for those obtained fractions. Even though density values are slightly greater for coarse fractions they are seen with similar values. Density differences among them are sufficiently insignificant to consider that extended distances are only function of radius particle [ $x = f(r)$ ] and independent of density particles.*

#### 4.3. Chemical composition

*Chemical composition of initial fly ash and its fractions are shown in table IV (data are referred to dry samples). Analytical data are similar to other spanish fly ashes (6,7).  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  and  $\text{SO}_3$  contents increase for fine fractions, and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content is greater for coarse fractions. Differences among analytic data for initial fly ash and the four sized fractions are related to the lost fraction in the separation process: the fine lost fraction will be later analyzed. Cañadas et al. (8) analyzed fly ashes collected in different points of thermoelectric power plants, and differences between fly ashes collected by the gravity precipitators and ones by electrostatic precipitators were also found.*

*Greater concentrations of alkalines in the finest fractions have two interesting points: on one hand, high alkaline content in fine particles implies a lower surface tension for the liquid drop that solidifies into the chimney, moreover melting effect that reduces fusion temperatures. On the other hand, higher alkaline concentration would be able to modify pozzolanic behaviour, although we*



#### 4.4. Características mineralógicas

Los espectros de absorción infrarroja fueron similares para todas las fracciones separadas. Las bandas más intensas aparecieron alrededor de  $1.100\text{ cm}^{-1}$  y  $500\text{ cm}^{-1}$  (se asignan a las vibraciones de los silicatos presentes). Además, apareció una señal menos intensa en la zona de  $750\text{-}800\text{ cm}^{-1}$ , la cual corresponde a la vibración del cuarzo  $\alpha$  (6).

Los difractogramas de rayos X para todas las fracciones obtenidas fueron bastante similares, y muestran las señales típicas que caracterizan las cenizas volantes de bajo contenido en cal. Carles-Gibergues y col. (9) indicaron que estas cenizas volantes de bajo contenido en cal presentan una fase vítrea predominante, asociada a componentes cristalinos como cuarzo, mullita, magnetita, etc. El cuarzo es el componente cristalino mayoritario ( $2\theta = 25,52^\circ$ ) y otro componente cristalino importante en la mullita ( $2\theta = 36,60^\circ$ ). La diferencia más significativa que aparece entre los distintos difractogramas de rayos X (Figura 5) es la altura de la línea base; así, en idénticas condiciones experimentales, en las fracciones más finas esta línea base es mucho más alta que en las fracciones gruesas. De este modo, esta línea base de los difractogramas informa acerca de la proporción de fase amorfa presente en las distintas fracciones (10). Por tanto, a igual composición química, debería ser más alta e importante la puzolanidad para la fracción fina que para la fracción gruesa.

#### 4.4. Mineralogical characteristics

*Infrared absorption spectra were similar to all the separated fractions. The highest peaks appeared around  $1100\text{ cm}^{-1}$  and  $500\text{ cm}^{-1}$ , and they are due to vibrations of the silicates. Moreover, a short signal in the  $750\text{-}800\text{ cm}^{-1}$  zone may be clearly observed, which corresponds to vibration from  $\alpha$ -quartz (6).*

*X-Ray diffractograms for all the studied fractions were also similar, and they show typical signals for fly ashes with low lime content. As Carles-Gibergues et al. (9) indicated, low lime content fly ashes have a predominant vitreous phase associated to quartz, mullite, magnetite, etc. as crystalline components. Quartz is the main crystalline component ( $2\theta = 25.52^\circ$ ) and mullite is also an important component ( $2\theta = 35.60^\circ$ ). The most significant differences among the X-Ray diffractograms (Figure 5) is the background level: for fine fractions that is higher than coarse fractions. The background level in the diffractograms indicate the quantity of amorphous glass is present in the sample (10). Therefore, higher pozzolanity for fine sized fractions is more relevant than coarse ones.*

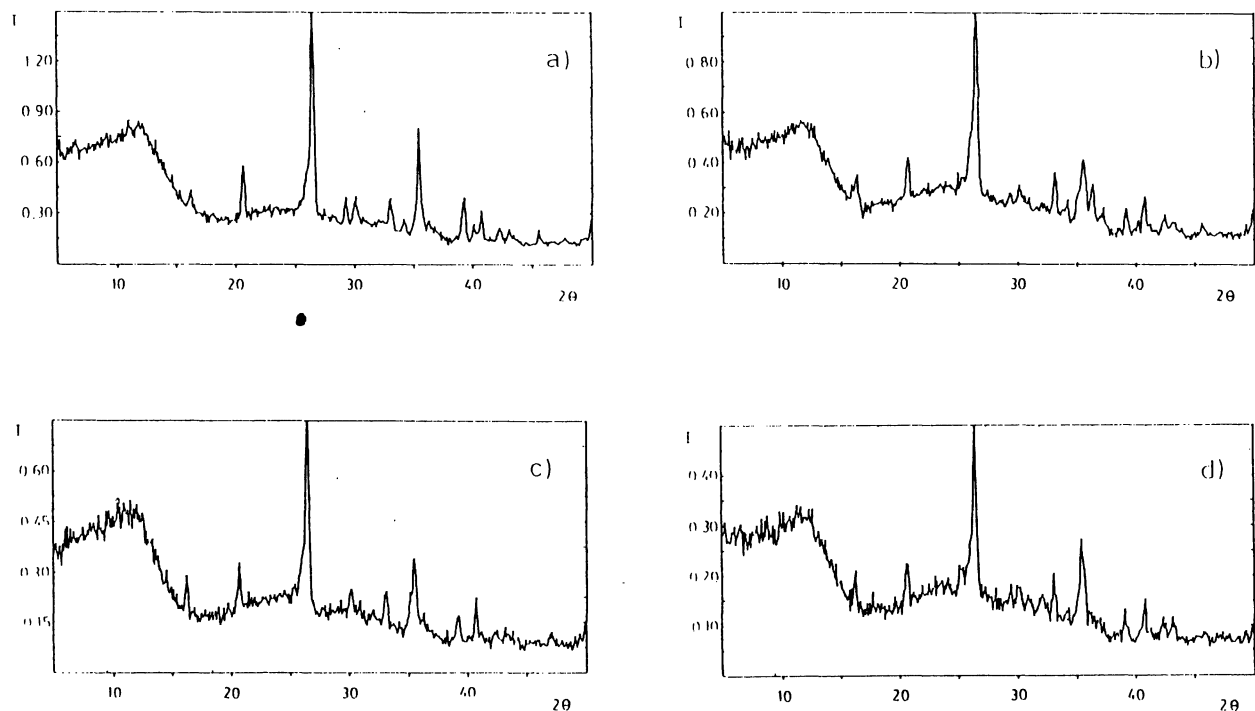


Fig. 5.—Difractogramas de rayos X de las fracciones separadas: a) Fracción F1; b) Fracción F2; c) Fracción F3; d) Fracción F4.

Fig. 5.—X-Ray diffractograms for sized fractions: a) F1 Fraction; b) F2 Fraction; c) F3 Fraction; d) F4 Fraction.

además, los álcalis favorecen la menor temperatura de fusión por efecto de fundente. Por otra parte, la mayor concentración de álcalis podría modificar el carácter puzolánico, si bien dicho carácter estaría también condicionado por el carácter vítreo que el enfriamiento rápido puede propiciar sobre las partículas más finas.

*must take into account vitreous nature generated for rapid cooling.*

TABLA III TABLE III  
Densidades reales de las cenizas volantes (original y fracciones)  
[Real densities (initial fly ash and sized fractions)]

Ceniza volante (Fly ash)	Densidad real (g/cm <sup>3</sup> ) [Real density (g/cm <sup>3</sup> )]
C	2.540
F1	2.699
F2	2.675
F3	2.632
F4	2.533

TABLA IV TABLE IV  
Composición química de las cenizas volantes (original y fracciones)  
[Chemical composition (initial fly and sized fractions)]

	C	F1	F2	F3	F4
PF	2,10	2,19	0,91	0,63	0,72
SiO <sub>2</sub>	44,74	39,48	42,46	43,77	42,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,02	23,63	19,05	16,36	15,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,32	19,14	22,63	23,81	26,65
CaO	8,51	7,52	7,46	8,22	8,97
MgO	0,70	0,65	0,88	0,97	1,08
Na <sub>2</sub> O	0,42	0,12	0,13	0,15	0,14
K <sub>2</sub> O	0,92	0,21	0,27	0,26	0,21
SO <sub>3</sub>	0,98	0,62	0,66	1,36	1,54
Cal libre (Free lime)	0,50	0,21	0,27	0,26	0,21

Por otra parte, podemos considerar que las densidades reales entre las fracciones separadas están relacionadas con su contenido cristalino; de este modo, los componentes cristalinos tienen más densidad que los amorfos, y consecuentemente las densidades son ligeramente más altas en las fracciones gruesas.

## 5. CONCLUSIONES

En este primer estudio se ha iniciado un análisis de cenizas volantes de central térmica con objeto de caracterizar el efecto que cada fracción por tamaños tiene sobre las propiedades generales y específicas del producto tan ampliamente usado como sustitutivo de cemento en hormigones en masa.

Se ha puesto a punto una técnica de separación seca que no altera la muestra para posteriores estudios de pozzolanidad.

Las granulometrías de cada fracción confirman como satisfactorio el método, de separación, por lo que la técnica podrá ser usada en investigaciones futuras. Las distribuciones granulométricas están de acuerdo con la propuesta inicial.

Del análisis químico y de difracción de rayos X de las fracciones se obtienen resultados que justifican futuras investigaciones acerca de las influencias de las fracciones de las cenizas volantes (tamaños y superficie específica, composición química, contenido vítreo, forma de las partículas) sobre hormigones.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a M. Dolores Marcos y Vicente Carbonell (Facultad de Químicas, Universidad de Valencia), Vicente Fornés (ITQ, Valencia) y Arnaldo Moreno (AICE, Castellón) su desinteresada colaboración.

*We consider that differences in real densities among the sized fractions are related to the crystalline contents: so, crystalline components have more density than amorphous components, and consequently, densities are slightly greater.*

## 5. CONCLUSIONS

*This is the first part of our study on fly ashes for characterizing the effect of size particles on the general and specific properties of fly ash replacing concretes.*

*A separation method which does not change the nature of the fly ash, studying pozzolanity is proposed.*

*Granulometric data confirm satisfactory results and the technique is useful for future investigations. Size distributions are in good agreement for initial supposed.*

*Chemical and X-ray data yield interesting results for a future research on fly ash characteristics (size and specific surface, chemical composition, vitreous content, particle morphologies) which influence concrete properties.*

## ACKNOWLEDGEMENT

*The research support from M. Dolores Marcos and Vicente Carbonell (Facultad de Químicas, Universidad de Valencia), Vicente Fornés (ITQ, Valencia) and Arnaldo Moreno (AICE, Castellón).*

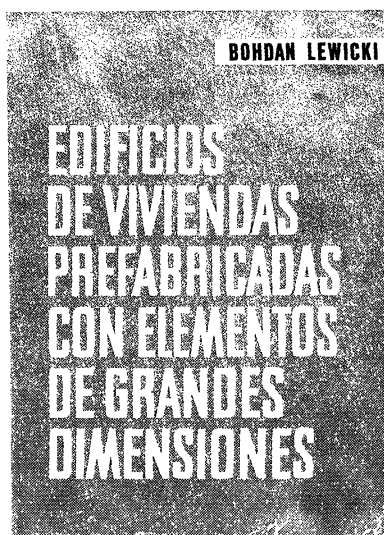
## BIBLIOGRAFÍA

- (1) RODRÍGUEZ SANTIAGO, J.: "El empleo de las cenizas volantes en la fabricación de hormigones". Revista de obras públicas, 1988, 663-676.
- (2) COSTA, V.; MASSAZZA, F.: "Rheological properties of fly ash cement pastes". Il cemento, 4, 1986, 397-414.
- (3) MEHTA, P. K.: "Influence of fly ash characteristics on the strengths of Portland-fly ash mixtures". Cement and Concrete Research, 15, 1985, 669-674.

- (4) DE LUXÁN, M. P.; SÁNCHEZ DE ROJAS, M. I.; FRÍAS, M.: "Investigations on the fly ash-calcium hydroxide reactions". Cement and Concrete Research, 19, 1989, 69.
- (5) DIAMOND, S.: "Particle morphologies in fly ash". Cement and Concrete Research, 16, 1986, 569.
- (6) DE LUXÁN, M. P.; SÁNCHEZ DE ROJAS, M. I.; SORIA, F.: "Características de las cenizas volantes españolas". Materiales de Construcción, 38, n. 209, 1988, 25-38.
- (7) CALLEJA, J.: "Cenizas, cementos y hormigones con cenizas". Cemento y Hormigón, n. 597, 1983, 707-730.
- (8) CAÑADAS, L.; OLIVARES, J.; SALVADOR, L.: "Caracterización de las cenizas volantes de cinco centrales térmicas españolas". Congreso de Ingeniería ambiental, PROMA 89, Bilbao, Libro de Actas del Congreso, 3, 1989, 192-198.
- (9) CARLES-GUIBERGES, A.; VAQUIER, A.: "Influence du broyage sur la reactivité d'une cendre volante". Ciments, betons, plâtres, chaux, 752, 1985, 46-50.
- (10) CABRERA, J. G.; HOPKINS, C. J.; WOOLLEY, G. R.; LEE, R. E.; SHAW, J.; PLOWMAN, C.; FOX, H.: "Evaluation of the properties of British Pulverized Fuel Ash and their influence on the strength of concrete."

\* \* \*

## publicaciones del ICCET/CSIC

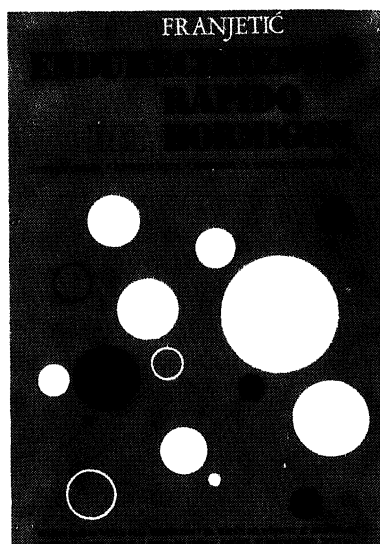


**Bohdan Lewicki**

Este libro trata de los problemas relativos a la construcción de los edificios de viviendas o públicos realizados con elementos prefabricados de grandes dimensiones. Se han estudiado los problemas de arriostamiento, así como los que plantea la resistencia de los elementos y de la estructura; se han examinado las cuestiones de orden higrotérmico, acústico y de resistencia al fuego; también se ha profundizado en el estudio de la estanquidad de los muros exteriores y de las juntas.

La obra incluye numerosas ilustraciones que dan detalles de diversas soluciones, así como ejemplos de cálculo, tablas de valores numéricos, diagramas y ábacos.

Un volumen encuadernado en tela, de 24 x 17 cm, compuesto de 616 págs.

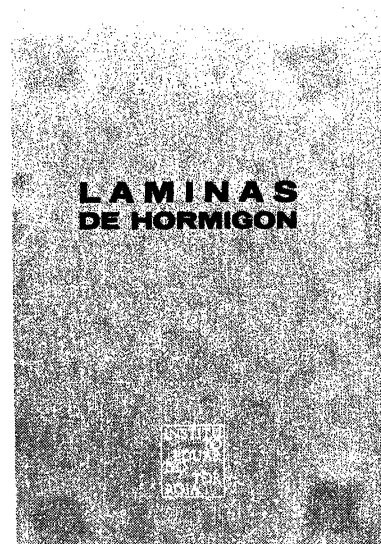


**Zorislav Franjetić**

En la obra de Franjetić se expone de una forma minuciosa, ordenada y sistemática, todo un cuerpo de doctrina que reúne el conocimiento actual sobre el endurecimiento rápido del hormigón. Parte el autor de los principios básicos y llega a las últimas consecuencias y realidades técnicas y económicas.

Es una obra de consulta, tanto para el investigador sobre la materia, como para el proyectista y el realizador y montador de plantas e instalaciones y equipos de curado y endurecimiento rápido.

Un volumen encuadernado en cartóné, de 17 x 24,5 cm, compuesto de 385 págs. 110 figuras y 10 tablas.



**A. M. Haas**

Al escribir este libro el autor intentó poner a disposición de los estudiantes y de los ingenieros unos conocimientos prácticos, adecuados para servir de guía en el diseño y construcción de láminas delgadas de hormigón.

El autor está convencido de que el éxito en el diseño de una lámina exige, por parte del proyectista, un examen de las tres fases por las que pasa la materialización de la lámina: el diseño, el análisis estructural y la construcción de la estructura.

Un volumen encuadernado en tela, de 17 x 24,5 cm, compuesto de 420 págs., 141 figuras, 22 fotografías y 6 tablas.