

Elementos prefabricados de hormigón con cenizas volantes

The use of fly ash in concrete blocks

MARINA ÁLVAREZ ALONSO, Dra. Arquitecta
OLGA RÍO SUÁREZ, Dra. Ing. de Caminos
ICCET/CSIC/ESPAÑA

Fecha de recepción: 16-XII-91.

RESUMEN

Se describe la posible utilización de cenizas volantes consideradas no aptas como sustituto del cemento por la normativa, que pueden ser utilizadas en otros sectores de la industria de la construcción como la de prefabricación de piezas de hormigón. Para ello, ha sido necesario realizar ensayos sobre los materiales constituyentes de los bloques así como de los propios bloques con el fin de obtener cuál es el elemento de hormigón más idóneo. En este artículo se presentan estos ensayos así como los principales resultados obtenidos.

SUMMARY

This paper describes how fly ashes which are not prescribed by the standards can be used in the manufacturing of concrete blocks. To implement this proposal it was necessary to do tests of the constitutive materials of the blocks, and block tests. The objective of these tests is to obtain the optimum blocks. This paper presents these tests and its main results.

INTRODUCCIÓN

La tendencia mundial en el desarrollo de la tecnología de la construcción se ha dirigido, en los últimos años, al campo de los materiales, a fin de satisfacer necesidades nuevas. Al mismo tiempo, trata de aprovechar al máximo productos residuales, como son los procedentes de las centrales termoeléctricas.

La producción anual mundial de este subproducto, cenizas volantes, se estima en 10 ó 6 millones de toneladas, con una tendencia al alza, de los que unos 200 millones se producen solamente en España. De todo el excedente de cenizas volantes, solamente se usa aproximadamente el 10 %, acumulándose las restantes en grandes cantidades en espacios aprovechables para otros usos.

Su principal utilidad, en el campo de la construcción, es en calidad de adición al hormigón como sustituto del cemento. Este uso está limitado por la Normativa internacional a un tamaño máximo, expresado en un determinado % retenido en el tamiz de 45 μ . Esta limitación se justifica, al haberse encontrado una relación entre este

INTRODUCTION

In order to satisfy the new necessities in the construction industry, the international trend is the study of the materials involved.

The use of some materials such as the by-product of the power stations (fly ashes), stored in areas which are profitables for other uses, gives a solution of an ecologic problem and on the other hand permits more economic solutions.

The annual production of fly ashes in Spain is $\approx$ 10,000,000 Tn, a 5 % of the world production. But only 20 % of these fly ashes are used. According to the majority of present standards, only the fly ash whose guy in the 45 μ sieve is < 40 % is useful as a cement substitute. This value is due to the fact that concrete manufactured with fly ash

porcentaje y la resistencia a compresión alcanzada por el hormigón, en especial a edades tempranas.

Esta situación, impone el estudio de la posible utilización de las cenizas volantes consideradas no aptas para sustituir al cemento, para otros fines, y en otros sectores de la industria de la construcción, como la cerámica y la prefabricación de piezas de hormigón. Estas industrias desarrollan unos procesos de fabricación que favorecerían su aplicación.

En este sentido, en el proceso de prefabricación de piezas de hormigón es práctica usual el sometimiento de la pieza a curados con incorporación de calor, al objeto de conseguir a edades tempranas las resistencias necesarias para la manipulación de las piezas. Esto puede resultar beneficioso para la mejora de resistencias a cortas edades en hormigones con incorporación de cenizas volantes.

De esta manera, al mismo tiempo que se profundiza en el estudio de un sistema constructivo, que debido a sus reconocidas ventajas: resistencia, facilidad de fabricación, versatilidad, etc, se muestra apropiado para la construcción de viviendas de baja altura (que en nuestro país constituyen un porcentaje importante del actual volumen de edificación), se contribuye a la solución del problema ecológico que supone el almacenamiento de este subproducto industrial.

METODOLOGÍA

Se estudiaron los siguientes parámetros:

1. Influencia de la adición de una ceniza volante, en dos vías.

1.a. Ceniza volante tal como viene de central (CA) añadida a la mezcla como finos del árido en los siguientes porcentajes:

0 % CA + 100 % Árido (patrón).
15 % CA + 85 % Árido (sust. en vol.) S3.
20 % CA + 80 % Árido (sust. en vol.) S4.
25 % CA + 75 % Árido (sust. en vol.) S5.

1.b. Ceniza volante tamizada por el tamiz de 75 μ (CV) como sustituto del cemento en las siguientes proporciones:

0 % CV + 100 % Cemento (patrón).
20 % CV + 80 % Cemento (sust. en peso) SA3.
33 % CV + 67 % Cemento (sust. en peso) SA4.

2. Influencia de la edad de curado de los bloques.

Los bloques se han ensayado a 7, 28, 60 y 90 días tras someterlos a un curado especial para piezas prefabricadas.

additions has lower compressive strengths at early ages.

The manufacturing processes of prefabrication of concrete blocks use thermal curing to obtain, at early ages, the necessary resistance to handle the blocks. This process improves the above-mentioned compressive strengths.

This paper describes how fly ashes which are not prescribed by the standards can be used in the manufacturing of concrete blocks. To implement this proposal it was necessary to do tests of the constitutive materials of the blocks, and block tests. The objective of these tests is to obtain the optimum blocks. This paper presents these tests and its main results.

METHODOLOGY

In accordance with the objectives of this work, the following parameters were studied:

1. *Fly ash mixture influence. Two ways: jointly or separately:*

1.a. *Untreated fly ash (UFA) added to the concrete as fine aggregate in the following percentages:*

0 % UFA + 100 % aggregate (control).
15 % UFA + 85 % aggregate (vol. subst.) S3.
20 % UFA + 80 % aggregate (vol. subst.) S4.
25 % UFA + 75 % aggregate (vol. subst.) S5.

1.b. *Screened fly ash —75 μ sieve— (SFA) added to the concrete as a cement substitute in the following percentages:*

0 % SFA + 100 % cement (control).
20 % SFA + 80 % cement (weight subst.) SA3.
33 % SFA + 67 % cement (weight subst.) SA4.

2. *Curing time of the block influence.*

The blocks are tested at 7, 28, 60 and 90 days after a special curing for prefabricated blocks.

3. Tipos de ensayos.

3.a. Ensayos de la ceniza volante.

La ceniza se sometió a diferentes análisis teniendo en cuenta la Normativa existente en España, normas UNE 83415.

Se han utilizado las siguientes técnicas: análisis químico, análisis de sus propiedades físicas: granulometría por rayos Laser, superficie específica Blaine; análisis de difracción por rayos X.

3.b. Ensayos de los bloques.

Ensayos mecánicos:

Resistencia a compresión (UNE 41172).

Ensayos físicos:

Absorción (UNE 41170).

Succión (UNE 41171).

Contenido de humedad.

ESTUDIO PARAMÉTRICO DE BLOQUES DE HORMIGÓN CON CENIZAS VOLANTES

Materials

Los materiales utilizados en la confección de los bloques fueron los siguientes:

- grava procedente del río Jarama, de tamaño máximo 9,52 mm y módulo de finura 5,45;
- arena del río Manzanares de tamaño máximo 4,76 mm y módulo de finura 2,85;
- cemento portland de alta resistencia inicial I/45A, de superficie específica 4,392 cm²/g B;
- una ceniza volante procedente de la central térmica de Soto de Ribera en Asturias.

Los resultados obtenidos de los análisis realizados con la ceniza se pueden ver en la tabla 1. Se observa que se trata de una ceniza volante sílico-aluminosa (clase F) con unas adecuadas condiciones químicas para su uso en el hormigón (UNE 83415). Estos datos vienen corroborados por los análisis de DRX (gráfico 1), que nos muestran como componentes cristalinos mayoritarios de la ceniza el Cuarzo- α (α -SiO₂) y la Mullita sintética (3Al₂O₃ · 2SiO₂) que indica que es una ceniza obtenida a alta temperatura.

En lo que se refiere a las características físicas de la ceniza, su finura expresada en el retenido en el tamiz de 45 μ nos muestra una ceniza volante gruesa con un retenido en el tamiz de 45 μ > 40 % (UNE 83415). Esta ceniza para su

3. Type of tests.

3.a. Fly ash tests.

The following tests are used: chemical analysis of the fly ash, analysis of its physic properties (laser ray grading, Blaine specific area, X-ray diffraction analysis —UNE 83415—).

3.b. Block tests.

Mechanical tests:

Compressive strength (UNE 41172).

Physical tests:

Absorption (UNE 41170).

Suction (UNE 41171).

Moisture content.

PARAMETRIC STUDY OF CONCRETE BLOCKS WITH FLY ASH

Materials

The materials used in the block manufacturing are the following:

- *gravel coming from the Jarama river (maximum size: 9.52 mm, fineness modulus: 5.45);*
- *sand coming from the Manzanares river (maximum size: 4.76 mm, fineness modulus: 2.85);*
- *portland cement I/45A (Blaine specific area: 4392 cm²/gr) and*
- *fly ash coming from the Soto de Rivera power station, whose chemical and physical properties are shown in table n.º 1.*

The fly ash used is a silicum-aluminous one (class: F) that has an adequate condition for use in concrete. These data are corroborated by the DRX analysis (see fig. 1). This analysis shows that most crystalline components are quartz- α (SiO₂- α) and synthetical mullite (Al₂Si₂O₇).

The physical test shows that this fly ash does not comply with the standards. The guy in the 45 μ sieve is > 40 %. This fly ash needs a previous screening or grinding process to be used as a cement substitute in concrete.

TABLA 1 TABLE 1
 Características físicas y químicas de C.V. de Soto de Rivera
 (Physical and chemical characteristics of Soto de Rivera fly ash)

Elementos (Elements)	Soto de Rivera Ceniza volante (Fly ash)	Normas (Standards)	
		ASTM	UNE
SiO ₂	52,86	—	—
Al ₂ O ₃	26,98	—	—
Fe ₂ O ₃	8,10	> 70 %	—
CaO	2,61	—	—
MgO	1,54	< 5 %	—
NaO	0,63	—	—
KO	0,31	—	—
SO ₃	0,23	< 4 %	< 4,5 %
LOI	2,87	< 12 %	< 6 %
IR	2,82	—	—
MC	0,09	—	< 1,5 %
% Retenido (% Guy)			
45 μ (45 μ Sieve)	51,91	< 34 %	< 40 %
30 μ (30 μ Sieve)	32,58	—	< 15 %
Superficie específica (cm ² /g) [Spec. Density (cm ² /g)]	1.788,70	—	—
Densidad A. (gr/cm ³) [Ap. Density (gr/cm ³)]	0,90	—	—
Densidad Real (gr/cm ³) [Real Dens. (gr/cm ³)]	2,06	—	—
Actividad R. (R. activity)			
7 días (days)	56,59	—	—
28 días (days)	66,70	—	≥ 75 %
90 días (days)	81,95	—	≥ 90 %

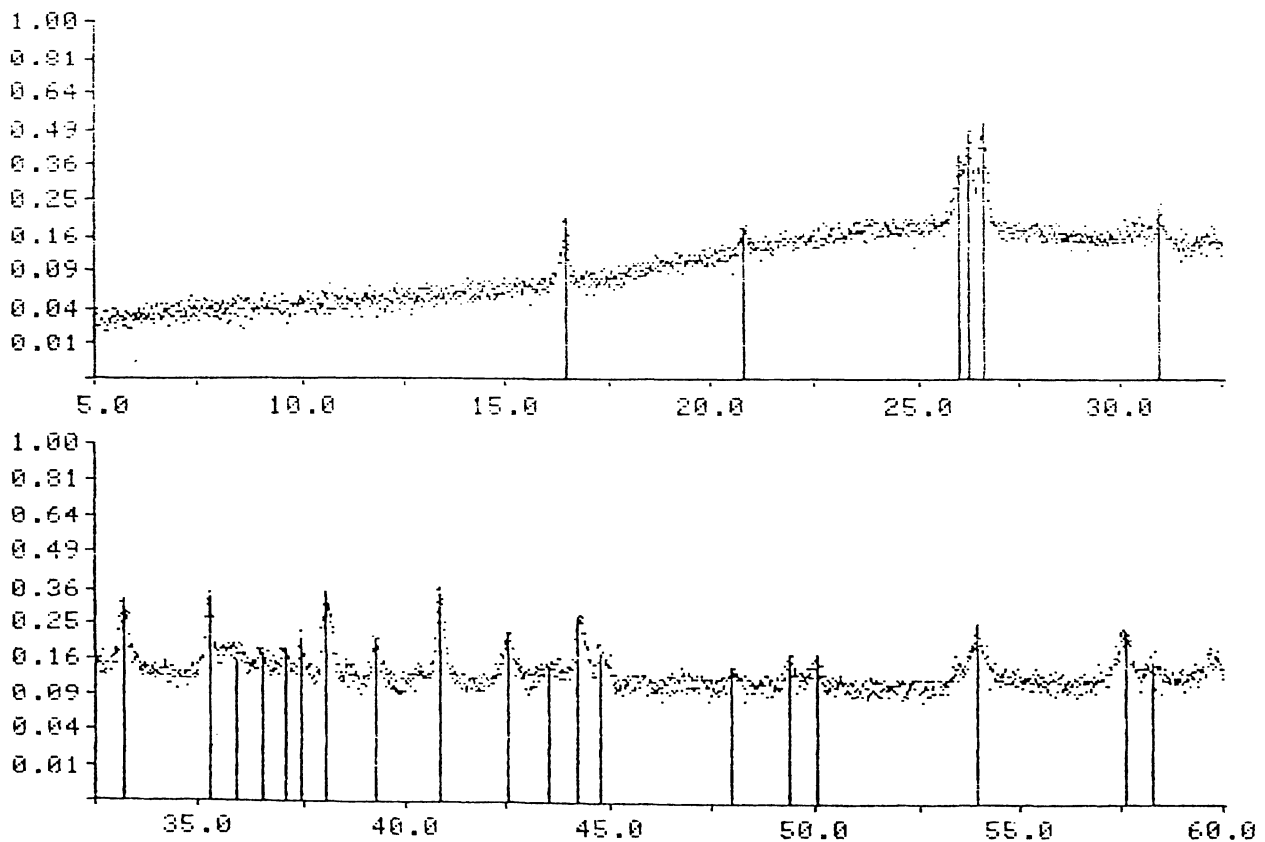


Gráfico 1.—Difractograma por rayos X de C.V. de Soto de Rivera. (D.R.X. analysis of Soto de Rivera F.A.).

adición al hormigón, como sustituto del cemento, necesita un tratamiento previo de tamizado o molienda.

PROPORCIÓN DE LAS MEZCLAS

El trabajo se ha desarrollado con una serie de tres familias de hormigones en base a una dosificación patrón "C" con una relación de cemento: árido de 1:9. Esta relación corresponde a un contenido de cemento usual hoy día en hormigones para prefabricación.

Ante la variedad de modelos de curvas granulométricas de áridos consultadas para este tipo de hormigones, a la hora de escoger la granulometría del árido del patrón, se optó por considerar el módulo de finura MF como factor controlador de la mezcla. En este caso se juzgó conveniente el MF de 3,70.

Aplicando la fórmula propuesta por Pfeifferberger, válida para cuando se utilizan áridos sin separación por tamices en la confección de hormigones de prefabricación, se obtuvo una granulometría de árido patrón compuesta de un 72 % de arena de tamaño máximo 4,76 cm y un 28 % de grava de tamaño máximo 9,52 cm.

Con objeto de obtener hormigones con unas mejores características y una textura más homogénea, se adicionó ceniza volante en 2 vías, conjunta y/o separadamente:

- Como sustituto del cemento en porcentajes del 20 % y 33 % con la ceniza tamizada por el tamiz de 75 CV (en peso).
- Como sustituto de la fracción más fina del árido adicionando la ceniza volante, tal como viene de central CA (en volumen), pasa por el tamiz de 150 μ , en porcentajes del 15 %, 20 % y 25 % del volumen total del árido, porcentajes permitidos ahora por la EH-91, en sustitución del 5 % recomendado hasta la EH-88.

En todos los casos, el volumen total de los áridos se mantuvo dentro de lo requerido por la buena práctica del hormigón.

La relación a/c, sin aditivos plastificantes, se fijó en 0,8, a fin de obtener una mezcla de consistencia muy seca apropiada para la fabricación de bloques. Estos se vibraron durante 1,5 minutos a 5.400 rpm añadiendo 30 segundos más para desmoldar.

La composición de los hormigones, con la cual están fabricados los bloques, está recogida en la tabla 2, en la que vienen recogidas cantidades para 3 bloques.

CONCRETE PROPORTIONING

To implement this research three families of fly ash concretes are developed. The control mixture "C" has an usual cement:aggregate ratio (1:9) normally used to make this kind of concrete blocks.

The grading of the concrete aggregate of the control mixture was selected setting the fineness modulus (FM) to 3.70. According to this modulus and applying the Pfeifferberger formula (1) the grinding obtained is the following: 72 % sand and 28 % gravel.

To obtain better characteristics and a more homogeneous texture of the concrete an addition of fly ash was made. This addition was made in two ways: jointly or separately.

The untreated fly ash coming from the power station is used in this work as follows:

- *The 75 μ sieve screened fly ash (SFA) was used as a cement substitute in weight.*
- *The untreated fly ash (UFA) was used as a fine aggregate substitute in volume. To study this second kind of addition to the concrete, the aggregate was screened through the 150 μ sieve. In this way the filler < 150 μ was eliminated.*

In all the concrete proportioning the total volume of the aggregate was kept up as a constant.

To obtain a dry consistency concrete a water/cement ratio of 0.8, without plasticizer additives, was used.

The different concrete proportionings used in the manufacturing of the blocks are shown in table 2.

TABLA 2 TABLE 2
Material utilizado en la fabricación de 3 bloques
(Material amount for 3 blocks elaboration)

Dosi- fica- cion (Dosa- ge)	Familia (Fa- mily)	CA	CV < 75 μ	A > 150 μ	G	Ce- mento (Ce- men)	CV < 75 μ	CA	A > 150 μ	G	A	A/C
		%	%	%	%	kg	kg	kg	kg	kg	l	
1 : 9	Patrón (Con- trol)	—	—	72	28	6,10	—	—	34,10	15,36	4,88	0,8
S3	3	15	—	57	28	6,10	—	5,27	33,25	15,36	4,88	0,8
SA3	3	15	20	57	28	4,88	1,22	5,27	33,25	15,36	4,88	0,8
S4	4	20	—	52	28	6,10	—	7,03	31,25	15,36	4,88	0,8
SA4	4	20	20	52	28	4,88	1,22	7,03	31,25	15,36	4,88	0,8
SB4	4	20	33	52	28	4,06	2,03	7,03	31,25	15,36	4,88	0,8
S5	5	25	—	47	28	6,10	—	8,78	29,99	15,36	4,88	0,8
SA5	5	25	20	47	28	4,88	1,22	8,78	29,99	15,36	4,88	0,8
SB5	5	25	33	47	28	4,06	2,03	8,78	29,99	15,36	4,88	0,8

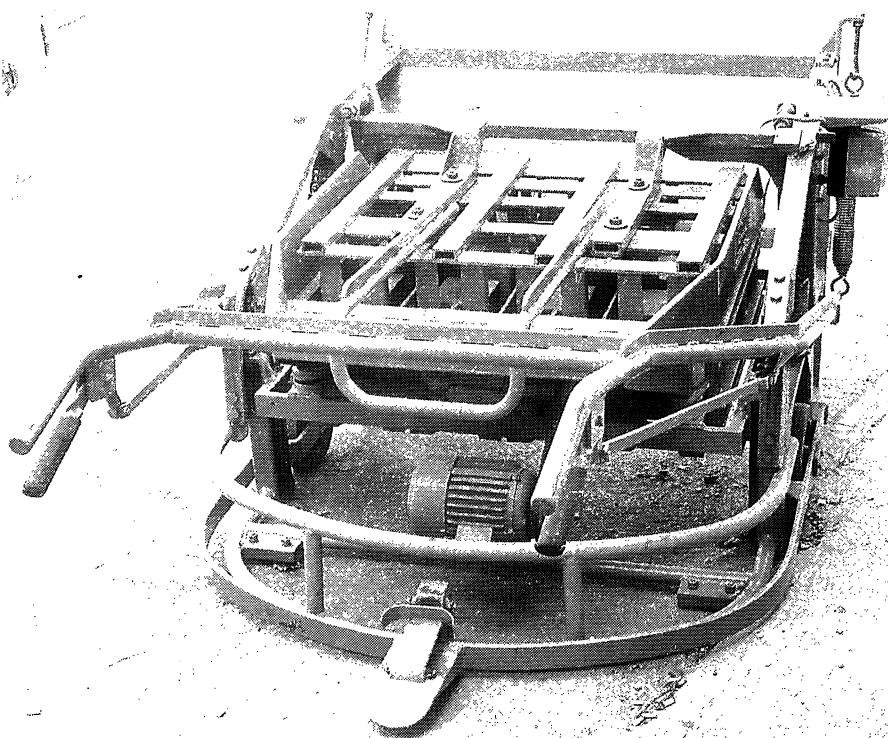


Foto 1 (Photo 1)

MAQUINARIA UTILIZADA

En la fabricación de los bloques se utilizó una máquina ponedora manual de procedencia nacional (foto 1), sólida y de fácil manejo, con capacidad para 5 bloques y 2 medios bloques por puesta, y a la que se puede cambiar el contramolde del formato de los elementos, a fin de adaptarlo a las tipologías deseadas (Gráfico 2).

BLOCK MANUFACTURING

To fabricate the concrete blocks a manual machine (see photo 1) was used. With this machine 4 complete blocks and 2 middle blocks can be made at once.

The designed block has the following characteristics (see fig. 2):

En este caso el bloque diseñado es un doble hueco, con dimensiones nominales de coordinación de 40 x 20 x 20 cm, de 800 cm² de sección bruta y una neta o resistente de 366 cm², que supone un volumen aparente de 15.608 cm³ (gráfico 2).

- two hollows,
- 40 x 20 x 20 cms (nominal dimensions),
- gross area: 800 cm²,
- net area: 366 cm² and
- apparent volume: 15.608 cm³.

The blocks were vibrated during 2 min at 5.400 rpm.

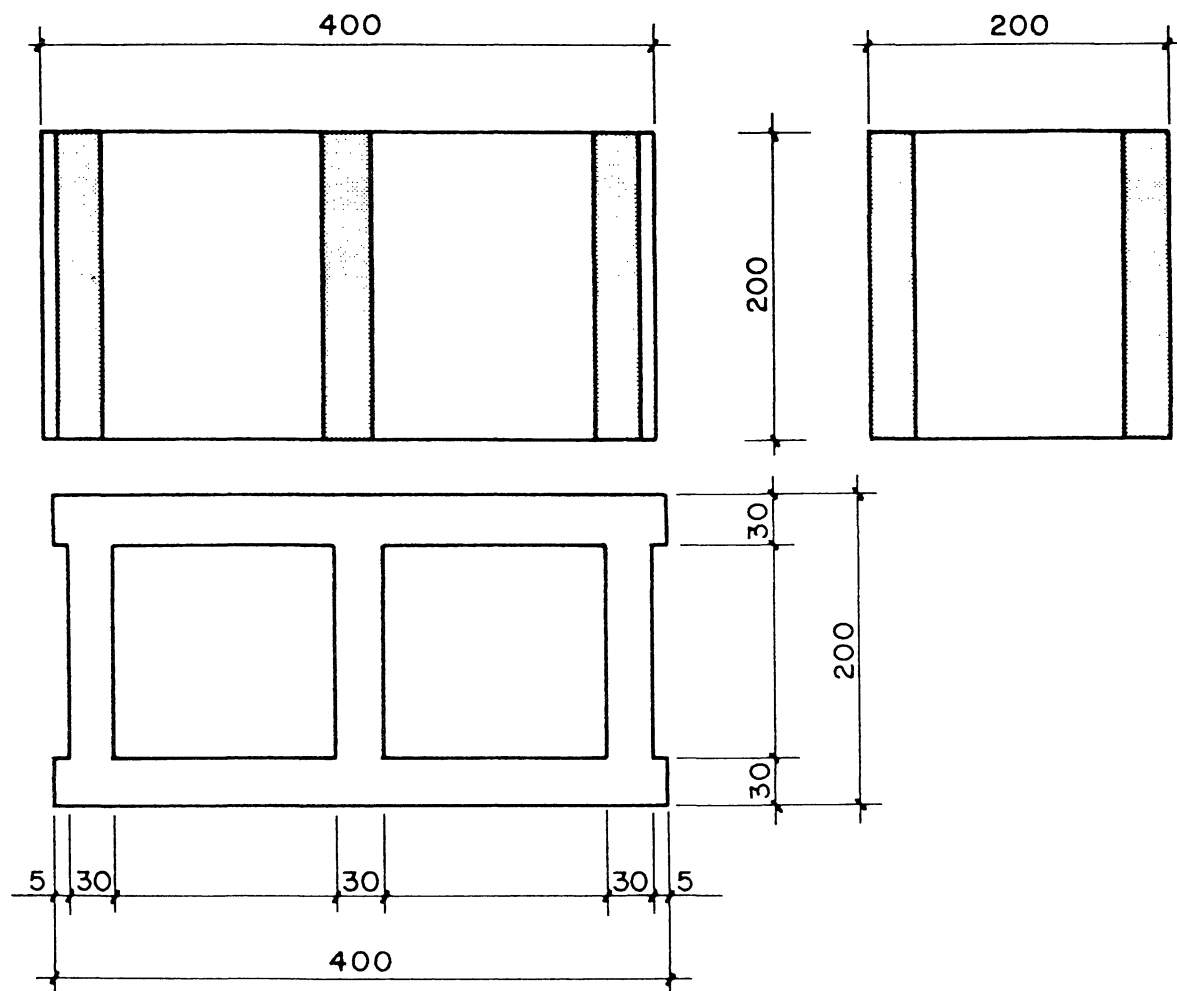


Gráfico 2.—Tipología de bloque. (Designed block).

CURADO DE LOS BLOQUES

El tiempo de fabricación de los bloques correspondió con los meses de verano, en los cuales las condiciones de temperaturas elevadas favorecen un curado al aire a temperatura elevada. Esto es práctica habitual durante todo el año en países con una climatología adecuada, y en los meses de verano en países cuya climatología lo permita.

De esta manera, los bloques recién salidos de máquina se han curado cubiertos con un plástico a fin de mantener la humedad, en un ambiente aproximadamente igual a 30° C, por un espacio de 24 horas, sin necesidad de un aporte extra de calor.

CURING PROCESS

An extra contribution of heat was unnecessary because the blocks were manufactured during summer time ($\approx 30^\circ$ centigrades). After manufacturing the blocks were covered with a plastic sheet (to avoid the moisture loss) during 24 h, then the blocks were submerged in water before being put into the steam chamber ($20 \pm 1^\circ$ C and $95 \pm 5\%$ RH); where the blocks were stored during three days. Afterwards, the blocks were stored at ambient air in the laboratory, with the hollows concurrent in vertical direction in a pile reaching 2 m height, where it were stayed until to be tested.

Transcurrido este tiempo se sumergieron en una balsa de agua y se almacenaron durante tres días más en cámara húmeda a $20^{\circ} + 1^{\circ} \text{ C}$ y $95 + 5 \%$ de HR, al cabo del cual pasaron a guardarse en el laboratorio a temperatura ambiente en pilas de unos 2 metros, de forma que los huecos quedaran en sentido vertical hasta el momento de ensayo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ensayos físicos

En la tabla 3, se muestran los resultados de los ensayos físicos realizados con los bloques. La tabla muestra los valores medios de la *absorción*, *succión* y contenido de humedad de cada familia de bloques, en función del porcentaje de ceniza volante (CA) sustituida como árido.

Los resultados obtenidos en el ensayo de *absorción*, que determina la capacidad de imbibición de agua por inmersión y muestra el grado de compacidad o porosidad del hormigón constitutivo del bloque, se desprende el beneficioso efecto que produce la incorporación de la ceniza volante.

Se puede observar que, en todos los casos estudiados, la *absorción* es inferior al patrón y siempre inferior al 10 % estipulado por la normativa. La explicación a este hecho puede ser que la ceniza, en su estado natural, al ser usada como la parte más fina del árido, corrige su curva granulométrica, proporcionándole una mayor compacidad al hormigón.

Los resultados obtenidos en el ensayo de *succión*, que determina la capacidad de imbibición de agua por capilaridad del bloque deseado a 110° C durante 5 minutos, muestran que la adición de cenizas volantes produce un efecto contrario al obtenido en el ensayo de *absorción*.

RESULTS OF THE CONCRETE BLOCKS TESTS

Physical tests

In table n.º 3 the results of the physical tests of the blocks are shown. The medium values of the absorption, suction and moisture content of each family of blocks are shown as a function of the fly ash (FA) percentage used as aggregate substitute.

The absorption test determines the imbibition capacity by immersion, and shows the compacity or porosity ratio of the block concrete. In all cases studied the absorption was lower than the absorption of the control block and lower than 10 % value specified by the standard. This is probably due to the fact that the FA used as a filler corrects the granulometric curve, providing a greater compacity to the concrete.

The suction test determines the imbibition capacity by capillarity after block drying (110° C) during five minutes. The obtained results have shown that the suction ratio of the fly ash concrete were greater than those obtained with the control concrete (without fly ash) though with values included among the limits specified by the standard ($0.05\text{-}0.10 \text{ g/cm}^2$).

TABLA 3 TABLE 3
Ensayos físicos
(Physical test)

Absorción media (Mean absorption)			Succión media (Mean suction)			Contenido de humedad (Mean moisture)		
Dosificación (Dosage)		%	Dosificación (Dosage)		%	Dosificación (Dosage)		%
Familia (Family)	% CV (% Fly ash)		Familia (Family)	% CV (% Fly ash)		Familia (Family)	% CV (% Fly ash)	
Patrón (Control)	—	6,48	Patrón (Control)	—	0,06	Patrón (Control)	—	2,10
3	15	5,86	3	15	0,075	3	15	2,06
4	20	6,24	4	20	0,08	4	20	2,35
5	25	6,03	5	25	0,07	5	25	2,48

En todos los casos, el índice de succión es superior al del patrón sin cenizas volantes, aunque comprendido entre los límites propuestos por la normativa 0,05 y 0,10 g/cm².

Los resultados obtenidos, en lo que se refiere al ensayo de contenido de humedad, muestran que el efecto depende de los porcentajes de ceniza utilizados. En este sentido, porcentajes pequeños de adición de ceniza volante disminuyen el contenido de humedad en relación con el patrón, y porcentajes altos lo aumentan.

La explicación a este hecho se puede encontrar en que la ceniza volante con la cual están fabricados estos bloques, en su estado natural, presenta un alto contenido en partículas gruesas que le comunican un mayor poder de captación de agua que los bloques sin ceniza.

Sin embargo, en todos los casos el índice de humedad es inferior al 40 % de la *absorción* máxima, como aconseja la Normativa.

ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

Resistencias a compresión en función del tiempo

La adición de ceniza volante mostró un efecto favorable en lo que se refiere a la resistencia a compresión y en la apariencia externa de los bloques. Los valores de la resistencia a compresión sobre la superficie bruta del bloque, a las edades especificadas, se expresan en la tabla 4, y las resistencias sobre la superficie bruta y también sobre la superficie neta en el gráfico 4.

The obtained results of the moisture content tests are a function of the used FA percentage. Low FA percentages involve lower moisture content than the control; on the other hand high FA percentages involve high moisture content higher than the control.

This is probably due to the high quantity of thickness particles that the untreated fly ash presents. This thickness particles bring to the blocks a higher capture of water than the blocks without fly ashes, though in the total treated cases the moisture ratio is less than the proposed by the standards (40 %).

MECHANICAL TESTS

Compressive strength as a time function

The fly ash addition shows a favourable effect in respect to the compressive strength and the external appearance of the blocks. The values of the compressive strength referred to the gross area at the specified ages, are shown in fig. 3 and table 4.

TABLA 4 TABLE 4
Resistencia a compresión de los bloques
[Blocks compressive strength (kg/cm²)]

Dosificación (Dosage)	Familia (Family)	CA % (FA %)	CV <75 µ % (FA < 75 µ %)	S. Neta (366 cm ²) [Net Area (366 cm ²)]				S. Bruta (800 cm ²) [Full Area (800 cm ²)]			
				Días (Days)				Días (Days)			
				7	28	60	90	7	28	60	90
1 : 9	Patrón (Control)	—	—	87	94	112	117	40	47	52,5	55
S3	3	15	—	117	178	194	197	55	84	91	92,5
SA3	3	15	20	114	127	140	153	54	60	66	72
S4	4	20	—	130	194	216	229	62	91	102	108
SA4	4	20	20	123	148	145	164	58	70	76	77
SB4	4	20	33	93	136	134	140	44	64	64	66
S5	5	25	—	115	135	172	179	54,5	73	81	84
SA5	5	25	20	118	134	153	156	55	62	72	73,5
SB5	5	25	33	87	125	124	140	41	59	60	62

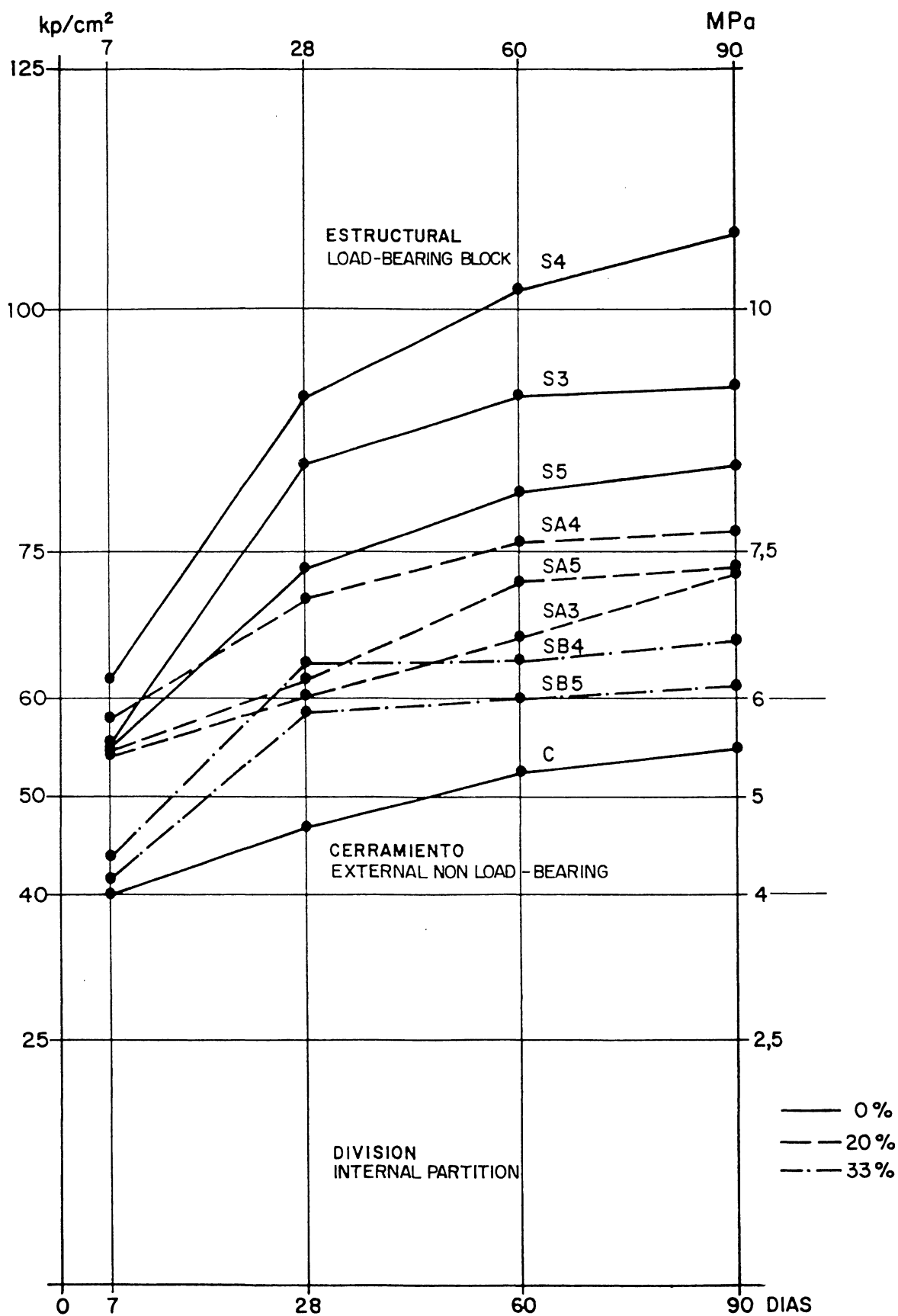


Gráfico 3.—Desarrollo de resistencias a compresión sobre superficie bruta de los bloques.
(Compressive strength referred to the gross section).

De los resultados obtenidos se puede apreciar que la adición de cenizas volantes retrasa el desarrollo de resistencias a edades tempranas, favoreciendo el desarrollo a partir de 28 días. Este desarrollo se vuelve a normalizar a edades avanzadas, de manera que las resistencias presentan una evolución similar al patrón.

Se puede observar que las resistencias alcanzadas por los bloques superan al patrón C en todas las edades, y también que las resistencias alcanzadas por algunos bloques a esta edad aumentan un 100 % con respecto al patrón.

RESISTENCIAS A COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN EN CENIZAS VOLANTES

Los resultados de las resistencias a compresión en función de las dosificaciones en ceniza volante, considerando la edad de las probetas, se muestran en el gráfico 4.

This figure shows that the compressive strengths reached by the fly ash blocks are higher than the compressive strengths reached by the control mixture in all the tested cases.

This effect is lower during the early ages, it increases after the 28 day age. For example, the S4 proportioning reaches a compressive strength of 100 % referred to the control (fig. 3). After 60 days at the compressive strength increase follows a similar trend as the control block.

COMPRESSIVE STRENGTH AS A FUNCTION OF THE FLY ASH PERCENTAGE

The values of the compressive strength are shown in fig. 4. These curves show that the UFA addition as a filler substitution has a favourable effect in the strength increase. The best results

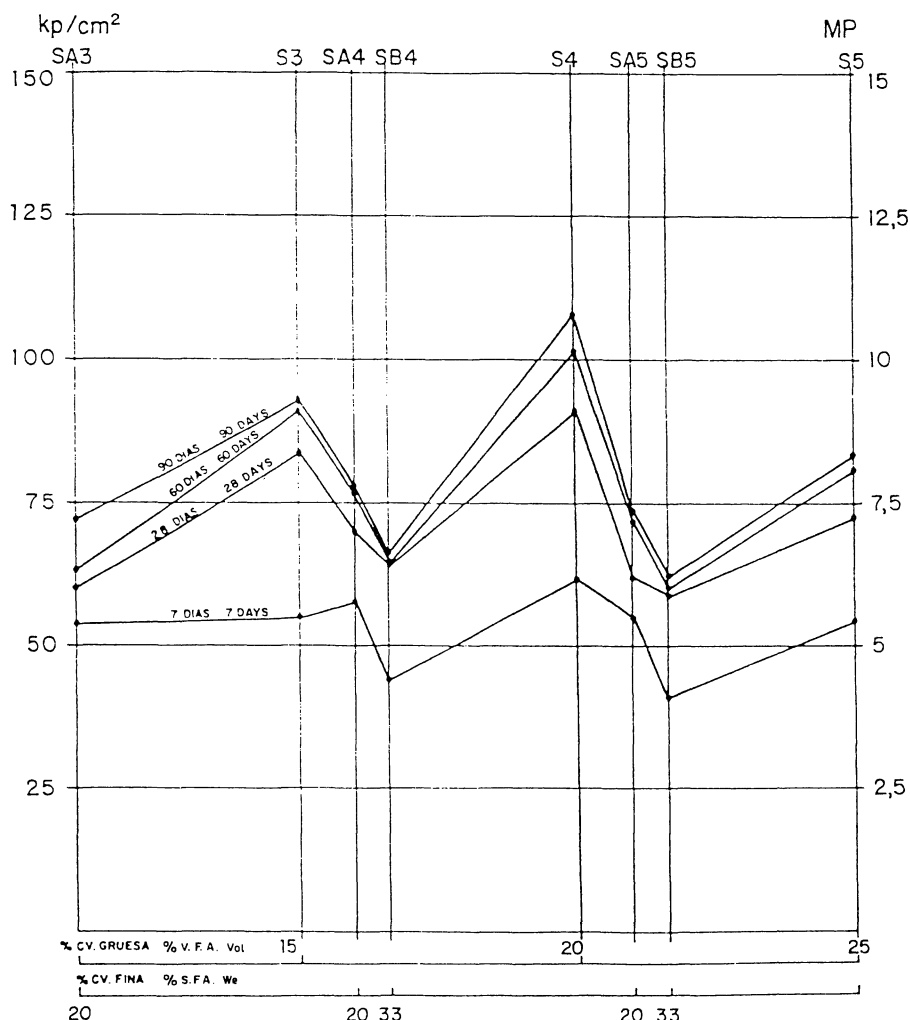


Gráfico 4.—Desarrollo de resistencias en función del % de ceniza volante de Soto de Rivera añadido a la mezcla.
Compressive strength as a function of the fly ash percentage).

Como se puede observar, la incorporación de la ceniza en su estado natural CA como sustitución del árido muestra un efecto favorable el desarrollo de las resistencias. Se consigue un aumento espectacular de resistencias con respecto al patrón cuando se sustituye en 20 %, para luego decaer éstas cuando se pasa a porcentajes mayores, el 25 %.

La incorporación de la ceniza tamizada CV sustituida por cemento, aumenta las resistencias con respecto al patrón, aunque con una ligera disminución con respecto a las dosificaciones en las que se utiliza solamente la ceniza volante natural. El efecto es menos perjudicial a edades tempranas que a edades avanzadas, y en porcentajes más bajos de sustitución 20 %, que en porcentajes más elevados 33 %.

CONCLUSIONES

- 1) La adición de ceniza volante se muestra satisfactoria, pues, en base a un hormigón patrón de relación cemento:árido de 1:9, con resistencia a compresión a 28 días de 47 kp/cm² correspondiente a un bloque de cerramiento, se alcanzan en casi todos los casos resistencias superiores a 60 kp/cm², límite inferior para bloques estructurales, con una favorable mejora en su aspecto exterior.
- 2) La influencia de la ceniza varía en función de los porcentajes utilizados. Los mejores resultados se obtienen con un 20 % de ceniza en estado natural sustituida como finos del árido, y un 20 % de ceniza tamizada por el tamiz de 75 μ sustituida como cemento. Porcentajes más elevados de sustitución producen una bajada de las resistencias.
- 3) La adición de cenizas volantes produce un beneficioso efecto en las características físicas (*absorción*, *succión* y contenido de humedad), aspecto exterior, y textura de los bloques.
- 4) La *succión* de los bloques está directamente relacionada con su resistencia a compresión. Los bloques más resistentes son los que presentan un menor índice de *succión*.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) PFEIFFEMBERGER, R. L.: "Aggregete gradations used for various products formed on the block machine". Besser Technical Data for Block Maker, Besser Block, vol. 10, 2. 1985. Pgs. 3-5.
- (2) UNE-41 166: "Bloques de hormigón: definiciones, clasificaciones y características generales". 1989. "Experimental".
- (3) LUXÁN, M. P.; SÁNCHEZ ROJAS, M. I.: "Characterization and activity of the Spanish fly ash". Second International Conference on the use of fly ash, silica fume, slag and other mineral by-products. Madrid, April 1986.
- (4) RODRÍQUEZ, L. F.: "Estructuras varias. Fábricas de bloques". Escuela de la Edificación I/UD1. 1986.
- (5) KOHNO, M.; HORI, K. & FUKUSHIMA, H.: "Used fly ash, blast furnace slag and condensed silica-fume for concrete block stripped immediately after molding". CIB Congress. Suecia, 1983. Pgs. 1.165-1.177.

are obtained when the UFA addition is a 20 %. The strength decreases when the UFA percentage increases (for example 25 %).

The SFA addition as a cement substitute increases the strength with respect to the control, but with lower values than the obtained with the UFA concretes. This decrease effect is less in 20 % addition than in 33 % addition.

CONCLUSIONS

- 1) *The use of fly ash in the concrete block manufacture is profitable. While the compressive strength of the control block is 47 kp/cm² (non load bearing block according to the standard), the compressive strength of the fly ash addition block is > 60 kp/cm². According to the standard, this strength corresponds to load bearing blocks.*
- 2) *The best solution with respect to the strength is obtained for an UFA addition of 20 % in volume and for a SFA addition of 20 % in weight also.*
- 3) *On the other hand, the fly ash addition improves the most of the physical characteristics, the external aspect and the texture of the blocks.*
- 4) *The suction rate is an inverse function of the compressive strength of the blocks.*