

# DESARROLLO DE MEZCLAS DE HORMIGON CON LA ADICION DE CENIZAS VOLANTES: LA SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA DEL HORMIGON ELABORADO

J.M. Agnello<sup>(1)</sup>, G.A. Benítez<sup>(1)</sup>, P. Carreño<sup>(1)</sup>, R. Verna<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>INTI Construcciones: Química Aplicada a la Construcción – Tecnología del Hormigón

<sup>(1)</sup>Materiales San Fernando S.A.

[alemir@inti.gov.ar](mailto:alemir@inti.gov.ar)

## INTRODUCCIÓN

El uso de la Ceniza Volante no es una práctica masiva en Argentina ya que actualmente existe una única fuente de provisión de la misma, siendo ésta de origen silíceo.

La iniciativa de una empresa de hormigón elaborado para utilizar la misma a escala industrial requirió la asistencia técnica del sector Tecnología del Hormigón de INTI Construcciones.

## OBJETIVO

Determinar la aptitud de uso de cenizas volantes disponibles en el mercado como reemplazo del cemento en mezclas de hormigón convencionales desde el punto de vista de las propiedades en estado fresco y endurecido.

## DESCRIPCIÓN

Los agregados utilizados fueron 50,5% de piedra partida 6-20 (TM = 19,5 mm), 20,5% de arena de trituración 0-6 mm y 29,0% de arena fina natural silícea (MF= 1,7). El cemento utilizado fue un Cemento Portland Compuesto (CPC40) de amplio uso en el mercado local que presenta como adiciones filler calcáreo (5-8 %) y escoria (12-16 %) que cumple la norma IRAM 50000. Los aditivos fueron un plastificante y un superfluidificante de aplicación corriente en las mezclas comercializadas por la empresa.

En la Tabla 1 se resume los parámetros más relevantes de la ceniza volante.

Tabla1: Caracterización de la ceniza volante (CV)

SiO <sub>2</sub> [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	CaO [%]	PPC(*) [%]	Densidad [kg/dm <sup>3</sup> ]	IAP(*) [%]
48,9	19,0	18,9	4,84	10,0	2,29	85,4

(\*)PPC: Pérdida por calcinación<sup>[1,2]</sup>; IAP: Índice de actividad puzolánica<sup>[1,2]</sup>

Se estudiaron cinco dosificaciones de acuerdo con la demanda habitual del mercado, con asentamiento 15 cm, bombeables, planteando dos niveles de resistencia de diseño a las edades de 28, 56 y 90 días. Los porcentajes de cenizas volantes variaron entre 20 y 35 %.

Se caracterizaron en estado fresco y endurecido a partir de la evolución de la resistencia a la compresión con la edad. Asimismo se evaluó la correlación entre la relación agua:materiales cementicios y agua:materiales cementicios considerando un coeficiente de eficiencia del material puzolánico basado en la bibliografía<sup>[3,4]</sup>.

## RESULTADOS

En la Tabla 2 se indican las dosificaciones planteadas y las relaciones agua/mc calculado con y sin el coeficiente de efectividad y las dosis de ambos aditivos. Estos coeficientes corresponden a porcentajes de reemplazo del cemento del 20 y 30 %, en base al desarrollo de resistencia de muestras testigo a la edad de 28 días, con ceniza volante de bajo contenido de CaO.

En la Tabla 3 se expresan los resultados de los ensayos en estado fresco.

Tabla 3: Ensayos realizados en estado fresco

	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
Asentamiento [cm] <sup>[6]</sup>	5,0	7,0	5,0	9,0	5,0
PUV[kg/m <sup>3</sup> ] <sup>[7]</sup>	2479	2489	2452	2448	2448
Contenido de Aire [%] <sup>[8]</sup>	1,9	2,0	2,3	2,2	2,2

En la Figura 1 se muestra la evolución de la resistencia a la compresión obtenida.

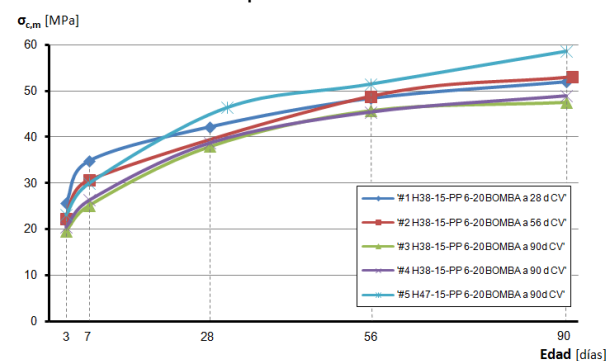


Figura 1: Evolución de la resistencia a la compresión

La última etapa consistió en la evaluación en planta de las mezclas, ajustando el asentamiento por medio de los aditivos.

Tabla 2: Dosificaciones estudiadas

Pastón #	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
Denominación de la mezcla	H38-15-PP 6-20 BOMBA 28 d CV	H38-15-PP 6-20 BOMBA 56 d CV	H38-15-PP 6-20 BOMBA 90 d CV	H38-15-PP 6-20 BOMBA 90 d CV	H47-15-PP 6-20 BOMBA 90 d CV
Material	$P_{sss}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$P_{sss}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$P_{sss}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$P_{sss}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$P_{sss}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Agua	170,0	160,0	160,0	160,0	170,0
Cemento	340,0	300,0	250,0	270,0	300,0
Ceniza Volante	80,0	80,0	150,0	150,0	160,0
Piedra Partida 6-20	978,5	1012,2	976,3	969,3	938,5
Arena fina natural silícea	500,5	517,8	499,4	495,8	480,1
Arena de trituración	357,9	370,2	357,1	354,5	343,3
Aditivo Plastificante (dosis)	1,8 (0,4 %)	2,0 (0,5 %)	2,3 (0,6 %)	2,0 (0,5 %)	2,5 (0,5 %)
Aditivo Superplastificante (dosis)	5,8 (1,4 %)	5,8 (1,5 %)	8,1 (2,0 %)	9,2 (2,2 %)	9,9 (2,2 %)
a/mc	0,40	0,42	0,40	0,38	0,37
a/mc <sub>efectiva</sub> (con coeficiente de efectividad)	0,43 (0,88)	0,45 (0,88)	0,46 (0,78)	0,44 (0,78)	0,42 (0,78)
F <sub>w</sub>	0,19	0,21	0,38	0,36	0,35

CV: Ceniza Volante; mc: material cementicio = (cemento+CV) ; F<sub>w</sub>: porcentaje de material puzolánico respecto a la masa total de cemento pórtland y material puzolánico, expresado como factor decimal

### CONCLUSIONES

El límite de Pérdida por calcinación de la ceniza volante supera el máximo establecido en la norma ASTM C-618 (6% para ceniza Clase F) pero dicha especificación permite hasta 12 % si el desempeño es satisfactorio <sup>[1]</sup>

El asentamiento de diseño no se logró con las dosis de aditivo iniciales a escala de laboratorio sin embargo se ajustó a escala industrial. Este parámetro es un requerimiento particular de cada obra para garantizar las condiciones de colocación y compactación adecuadas.

Los resultados de resistencia a la compresión obtenidos resultan conformes de acuerdo con las clases resistentes especificadas para cada una de las mezclas dosificadas según el Reglamento nacional vigente con excepción del 'Pastón #1', cuyo valor a 28 días está por debajo del nivel mínimo requerido.

Los pastones '#3' y '#4' exhiben un desempeño muy similar a las distintas edades consideradas, lo que permitiría establecer un criterio de selección entre ellas teniendo en cuenta un ahorro de material cementicio y economía de la mezcla elaborada.

El valor de resistencia promedio obtenido para el 'Pastón #2' a 28 días resulta anómalo según la evolución que demuestra a edades anteriores y posteriores.

Los resultados obtenidos demostraron un buen desempeño de las mezclas en su ajuste en planta y su uso contribuye a la sostenibilidad en la construcción iniciando el camino hacia una difusión masiva del uso de este residuo.

El diseño de mezclas con resistencias a edades mayores a 28 días no es práctica habitual en el mercado nacional y a partir de esta experiencia, se demuestra que es posible obtener hormigones con comportamientos adecuados cuando no existe la exigencia de habilitar la estructura a edad temprana.

La etapa siguiente al presente estudio consiste en la evaluación desde el punto de vista de la durabilidad para confirmar las mejoras citadas por la bibliografía existente por la actividad puzolánica aportada por este material que favorece no sólo la evolución de resistencia a edades prolongadas sino también la densificación de los productos de hidratación y una disminución notable de la permeabilidad.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASTM C618 – 12a. Especificación normalizada para Ceniza Volante de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para Uso en Concreto
- [2] ASTM C311. Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete
- [3] Antiohos, S. *et al.* "Evaluation of blends of high and low calcium fly ashes for use as supplementary cementing materials". Cement and concrete composites. Elsevier. Volumen 27. (2005) 349-356.
- [4] M. Thomas, Ph.D., P.Eng., Professor of Civil Engineering, University of New Brunswick. "Optimizing the Use of Fly Ash in concrete". IS 548. Portland Cement Association, Skokie, Il. (2007) 24 pages.
- [5] Norma IRAM 1536. Hormigón fresco de cemento pórtland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono.
- [6] Norma IRAM 1562. Hormigón fresco de cemento. Método para la determinación de la densidad (masa de la unidad de volumen) y el cálculo del rendimiento y del contenido de aire (gravimétrico).
- [7] Norma IRAM 1602. Hormigón de cemento pórtland. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas de hormigones y morteros