

C/EXPEDIENTE: 57.078/13.-

Interesado : **MATERMIX S.R.L.**  
Avda de Mayo 580 – Piso 2 of 1  
Tel.: 011-4331-5829

Muestra de : Ceniza volante.  
Identificación de la muestra  
del LEMIT : N° Lab: 2299/13

Factura : N° 0010-00004240/13  
Fecha de la factura : 03/10/13

### INFORME TECNICO

## ESTUDIO DE MORTEROS Y HORMIGONES CON INCORPORACIÓN DE CENIZAS VOLANTES. ETAPA SOBRE MORTEROS

### 1. ALCANCE

El presente informe de avance incluye los resultados de caracterización de la ceniza volante (CV) a emplear en los estudios sobre morteros. El programa incluye la realización de series de morteros con 3 cementos diferentes utilizando dos relaciones agua/ligante y reemplazos crecientes de cemento por cenizas, esto es una mezcla control (0% CV) y mezclas con reemplazos de 10, 20 y 30 %.

Los ensayos realizados incluyen asentamiento, peso unitario, tiempo de fraguado y exudación. En morteros complementarios se estudió el efecto de la presencia de cenizas sobre la incorporación de aire. Asimismo se estudió la evolución de la resistencia a flexión y compresión a edades de 7, 28 y 90 días.

### 2. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA

En la Tabla 1 se informan los resultados del análisis químico de la ceniza realizados según norma ASTM C-114.

En cuanto a propiedades físicas se determinaron valores iguales a 295 m<sup>2</sup>/kg de superficie específica Blaine, un retenido igual a 21 % en el tamiz de 45 micrones y un retenido del 17 % en el tamiz de 75 micrones. Asimismo se realizó una granulometría a la fracción que pasa el tamiz de 75 micrones cuyos resultados indican un diámetro medio igual a 16 micrones.

C/EXPEDIENTE: 57.078/13.-

Tabla 1.- Análisis químico de la ceniza (ASTM C-114).

Sílice total en SiO <sub>2</sub> , %	56,40
Hierro, en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	21,91
Aluminio, en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	7,94
Calcio, en CaO, %	2,21
Magnesio, en MgO, %	3,21
Sodio, en Na <sub>2</sub> O, %	0,28
Potasio, en K <sub>2</sub> O, %	0,57
Sulfato, en SO <sub>3</sub> , %	0,39
Pérdida por calcinación, %	6,95
Residuo insoluble, %	68,60

### 3. RESULTADOS SOBRE MORTEROS

Se realizaron dos series de morteros con relaciones agua/ligante 0,4 y 0,5, cada una de ellas incluye una mezcla control (0% CV) y mezclas con reemplazos de 10, 20 y 30 % de cemento por CV. En cada serie se realizaron morteros con tres cementos de diferente origen (L, A, H).

La serie 0,5 se preparó con la consigna de un asentamiento de  $10 \pm 2$  cm (cono de 15 cm de altura), mientras que en la serie 0,4 el valor fue de  $6 \pm 2$  cm. Se mantuvo la dosis de agua y para lograr dicha consigna se ajustó el aditivo. Se utilizó un reductor de agua de medio rango (Mira 57).

La Tabla 2 muestra los morteros elaborados indicando el peso unidad de volumen (PUV) y el asentamiento inicial. En los morteros con 10% de CV con el fin de valorar la pérdida de fluidez en el tiempo, se midió el asentamiento luego de pasados 30 minutos, realizando un breve mezclado del mortero previo a la determinación. La mezclas se identifican por el cemento (L, A, H), la relación agua/ligante (5: indica a/l = 0.5, 4: indica a/l = 0.4) y la dosis de CV (0, 10, 20 o 30) empleados en cada caso.

Tabla 2. Morteros elaborados (serie principal).

Mortero	L5-0	L5-10	L5-20	L5-30	A5-0	A5-10	A5-20	A5-30	H5-0	H5-10	H5-20	H5-30
Asentamiento inicial (mm)	110	110	110	110	110	105	105	105	105	105	105	105
Asentamiento 30 min (mm)	-	100	-	-	-	105	-	-	-	100	-	-
PUV (kg/m <sup>3</sup> )	2220	2220	2230	2210	2220	2230	2220	2230	2210	2230	2230	2210
Aditivo (% del ligante)	0,6											

Mortero	L4-0	L4-10	L4-20	L4-30	A4-0	A4-10	A4-20	A4-30	H4-0	H4-10	H4-20	H4-30
Asentamiento inicial (mm)	75	65	70	70	60	50	50	45	40	40	40	45
Asentamiento 30 min (mm)	-	35	-	-	-	20	-	-	-	25	-	-
PUV (kg/m <sup>3</sup> )	2200	2230	2210	2220	2200	2220	2240	2230	2240	2230	2240	2230
Aditivo (% del ligante)	1,0											

C/EXPEDIENTE: 57.078/13.-

Sobre las mezclas con 0, 20, y 30 % de CV se determinó a la vez la elevación de temperatura durante las primeras horas, de forma tal de evidenciar si existe algún efecto de las cenizas sobre el proceso de fraguado y ponderar su influencia sobre la generación de calor. Las curvas de evolución de la temperatura se indican en la Figura 1, se aprecia como era de esperar la reducción en la generación de calor que ocurre cuando se incorporan cenizas, tanto mayor cuanto mayor es el contenido de cemento reemplazado.

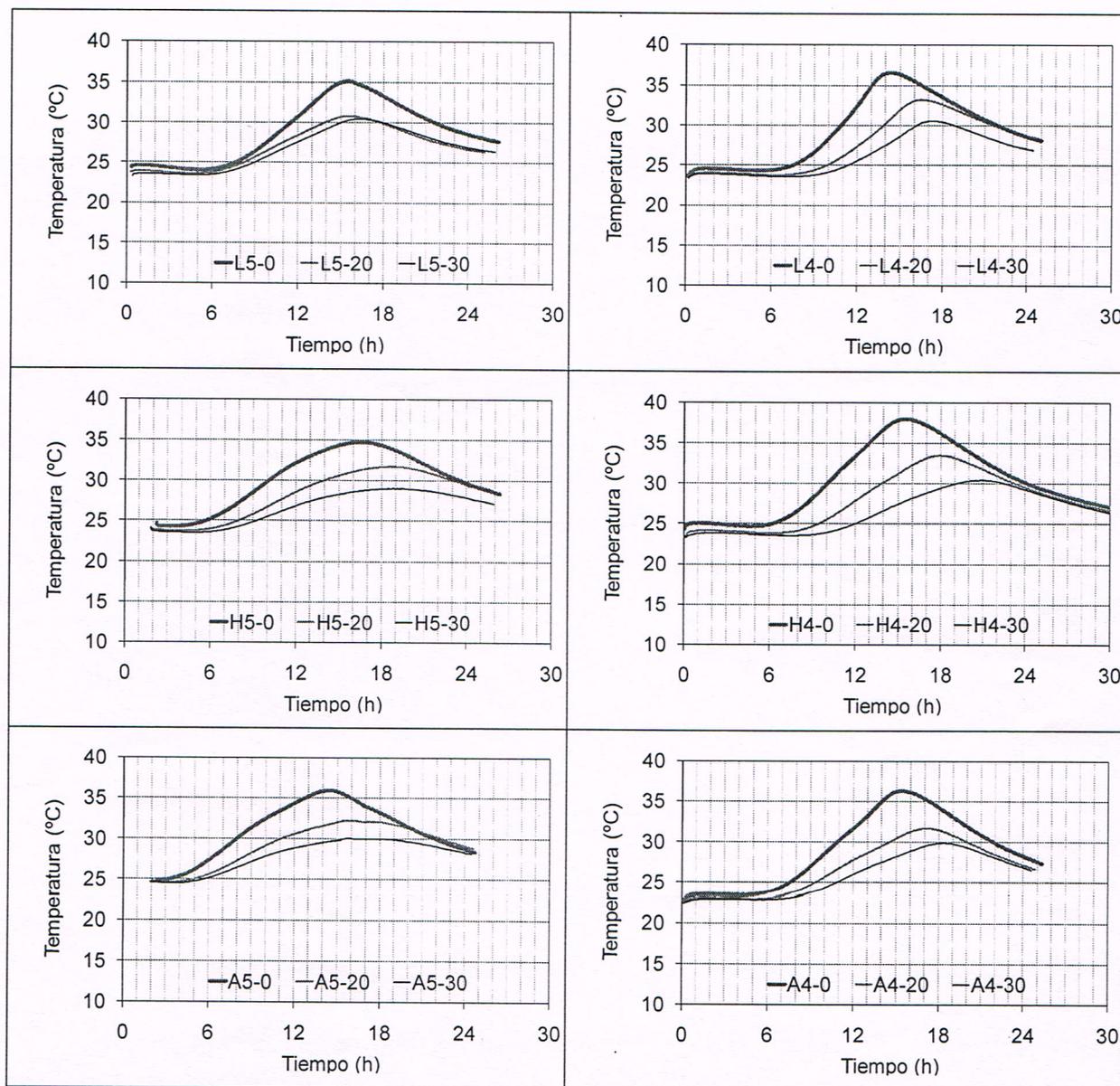


Figura 1. Evolución de la temperatura durante las primeras horas.

C/EXPEDIENTE: 57.078/13.-

Además se realizaron dos series complementarias. En la primera se midió exudación y tiempo de fraguado (Proctor) repitiendo los morteros con 0 y 20 % de CV y relación agua/ligante 0,5. En la segunda se repitieron las mismas mezclas con el agregado de un incorporador de aire en una dosis igual al 0,04 % del contenido total de ligante en todos los casos, determinando el contenido de aire por el método volumétrico, Los resultados se indican en la Tabla 3, donde también se analizó la pérdida de fluidez en el tiempo.

**Tabla 3.a Exudación y fraguado en morteros (serie complementaria).**

Mortero	L5-0	L5-20	A5-0	A5-20	H5-0	H5-20
Asentamiento inicial (mm)	105	105	105	105	100	110
Asentamiento 30 min (mm)	100	95	100	100	100	105
Capacidad de exudación (%)	12,3	12,9	10,0	10,1	10,9	10,5
Velocidad de exudación ( $10^{-6}$ cm/s)	32	34	25	33	26	35
Tiempo de fraguado inicial (h:min)	6:35	7:10	6:25	7:05	6:25	7:05
Tiempo de fraguado final (h:min)	9:05	10:15	9:05	10:20	8:55	10:20
Reductor de agua (% del ligante)	0,6					

**Tabla 3.b Efecto de la ceniza sobre la incorporación de aire.**

Mortero	L5-0	L5-20	A5-0	A5-20	H5-0	H5-20
Aire inicial (%)	13	6	10	6	8	3
Pérdida de aire en 50 min (%)	4	1	1	1	1	0
Aditivo (% del ligante)	0,04					

La Tabla 4 muestra los resultados de evolución de la resistencia a flexión y compresión, determinada sobre prismas de 40x40x160 mm. Para ello se utilizaron los métodos habituales aplicados para valorar la resistencia en morteros. En la Tabla 5 se pueden comparar los valores en términos relativos a la resistencia correspondiente al mortero sin cenizas a la edad de 28 días.

**Tabla 4. Resistencia de los morteros (serie principal).**

Mortero	L5-0	L5-10	L5-20	L5-30	A5-0	A5-10	A5-20	A5-30	H5-0	H5-10	H5-20	H5-30
Flexión (MPa)	7 días	6,2	6,1	5,1	5,7	5,2	4,5	4,1	5,6	5,6	4,5	4,1
	28 días	7,8	7,3	6,8	6,6	6,4	6,3	6,1	7,3	6,8	6,8	6,2
	90 días	8,4	8,5	8,7	8,7	6,8	7,2	7,5	7,0	7,3	7,6	7,9
Compresión (MPa)	7 días	31,2	26,8	22,2	24,9	21,5	17,7	15,1	27,3	23,9	19,7	16,9
	28 días	45,8	42,8	35,4	31,1	30,6	28,5	25,1	32,1	29,7	27,3	24,8
	90 días	45,4	44,5	43,6	43,7	44,5	42,1	40,5	34,8	39,5	38,5	36,6
Flexión (MPa)	7 días	7,0	6,4	6,1	5,5	7,0	5,8	5,2	7,0	7,1	6,3	5,2
	28 días	7,7	7,9	7,7	7,5	7,4	7,2	6,9	7,4	7,7	7,0	6,6
	90 días	8,0	8,1	8,4	8,2	7,9	8,9	9,9	7,8	7,9	8,3	8,1
Compresión (MPa)	7 días	38,1	35,0	29,8	37,7	31,8	30,3	24,1	32,1	32,0	27,4	22,2
	28 días	49,1	50,6	44,9	42,2	43,0	41,5	37,1	44,6	48,1	38,7	36,2
	90 días	50,3	51,6	49,4	44,3	49,5	47,3	45,7	48,9	51,1	48,2	47,8



**Tabla 5. Resistencia en valores relativos (serie principal). Control a 28 días = 1**

Mortero		L5-0	L5-10	L5-20	L5-30	A5-0	A5-10	A5-20	A5-30	H5-0	H5-10	H5-20	H5-30
		Flexión (MPa)	7 días	0,79	0,78	0,65	0,65	0,86	0,79	0,68	0,62	0,77	0,77
	28 días	1,00	0,94	0,86	0,87	1,00	0,97	0,95	0,92	1,00	0,93	0,93	0,85
	90 días	1,08	1,09	1,12	1,12	1,03	1,09	1,15	1,14	0,96	1,00	1,04	1,08
Compresión (MPa)	7 días	0,68	0,59	0,48	0,42	0,80	0,69	0,57	0,49	0,85	0,74	0,61	0,53
	28 días	1,00	0,93	0,77	0,77	1,00	0,98	0,92	0,81	1,00	0,93	0,85	0,77
	90 días	0,99	0,97	0,95	0,93	1,41	1,43	1,35	1,30	1,08	1,23	1,20	1,14
Mortero		L4-0	L4-10	L4-20	L4-30	A4-0	A4-10	A4-20	A4-30	H4-0	H4-10	H4-20	H4-30
		Flexión (MPa)	7 días	0,91	0,83	0,79	0,71	0,95	0,91	0,78	0,70	0,95	0,96
	28 días	1,00	1,03	1,00	0,97	1,00	0,99	0,97	0,93	1,00	1,04	0,95	0,89
	90 días	1,04	1,05	1,09	1,06	1,07	1,23	1,20	1,34	1,05	1,07	1,12	1,09
Compresión (MPa)	7 días	0,78	0,68	0,58	0,49	0,89	0,75	0,72	0,57	0,72	0,72	0,61	0,50
	28 días	1,00	0,98	0,87	0,75	1,00	1,02	0,98	0,88	1,00	1,08	0,87	0,81
	90 días	1,02	1,00	0,96	1,00	1,05	1,17	1,12	1,08	1,10	1,15	1,08	1,07



C/EXPEDIENTE: 57.078/13.-

### Observaciones finales

El análisis químico y las propiedades físicas se corresponden con las esperadas para una ceniza tipo F según norma ASTM.

En series con iguales proporciones de arena y dosis de aditivo reductor de agua, en las que se reemplazaron porcentajes crecientes de CV, se observó una escasa influencia de la CV estudiada sobre el asentamiento. Tampoco surgieron pérdidas significativas de la fluidez en el tiempo.

En el caso de la serie complementaria donde se utilizó un incorporador de aire convencional se observó que la CV provoca una reducción en el contenido de aire incorporado; al igual que lo ocurrido con la fluidez, los cambios durante la primera hora no fueron significativos.

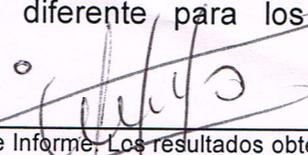
Los estudios complementarios de exudación indicaron muy pocas diferencias por efecto de la incorporación de 20 % de CV, sin cambios en el cemento L y con un ligero incremento de la velocidad de exudación en los cementos A y H.

El seguimiento de la elevación de temperatura durante las primeras horas muestra como era de esperar un menor pico de temperatura y una disipación más atenuada en las mezclas que incorporan cenizas. Tanto los estudios de elevación de temperatura como las medidas del tiempo de fraguado por el método de penetración indican una demora en el tiempo de fraguado inicial menor a una hora y del tiempo de fraguado final entre 1 y 1,5 hs si se comparan los morteros sin cenizas con aquellos que incorporan el 20 % de CV.

Los morteros con 20 o 30 % de CV, si bien mostraron una menor resistencia a compresión a las primeras edades, al cabo de 90 días presentan niveles similares al mortero de referencia; en muchos casos superan la resistencia que tuvo el mortero sin cenizas a la edad de 28 días, con la ventaja adicional que verifican una clara evolución de la resistencia a edades avanzadas cosa que no ocurre cuando no se incorporan las cenizas. En relación a la resistencia a flexión, a las primeras edades cuando se incorpora la CV es ligeramente menor y a 90 días supera al mortero sin CV. Los estudios de resistencia permiten inferir que el porcentaje óptimo de reemplazo desde el punto de vista resistente se encontraría entre 20 y 30 % CV.

Si bien el comportamiento observado varía ligeramente con el tipo de cemento no aparece ninguna tendencia marcadamente diferente para los tres cementos estudiados.

NOTA: Queda prohibida la reproducción total o parcial de este Informe. Los resultados obtenidos solo se refieren a las muestras y a las condiciones de ensayo mencionadas en el Informe.

  
Ing. LUIS P. TRAVERSA  
Director L.E.M.I.T.

LEMIT - CIC ★  
Hoja 8 de 8 hojas

25 FEB 2014

direccion@lemit.gov.ar

SALID ★