

# ESTABILIZADO DE POLVO DE ACERÍA EN UNA MATRIZ CEMENTICIA

Señas, L.<sup>1</sup>; P. Maiza<sup>1,2</sup>; S. Marfil<sup>1,3</sup> y J. Valea<sup>1</sup>

**Palabras clave:** estabilizado - polvo – acería

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la estabilización de un polvo de acería, caracterizado en estado suelto, química y mineralógicamente, utilizando ICP y DRX. Este material contaminante se incluyó en diferentes porcentajes, en matrices de morteros cementicios, de distintas características. Se evaluó el comportamiento de dichos morteros en ensayos mecánicos de compresión, flexión y tracción, y se lo comparó con el desempeño de los correspondientes morteros patrones, es decir, con los que no contenían polvo. Se estudiaron las características petrográficas de los morteros con estereomicroscopio y microscopía de polarización. Se analizaron las posibles alteraciones, que estos residuos podrían producir durante el fragüe y endurecimiento de la matriz cementicia. Para ello se hicieron pastas normales con la inclusión de iguales porcentajes de polvo que los utilizados en los morteros. Los resultados obtenidos se refirieron siempre a la pasta normal patrón.

Este trabajo forma parte de un programa de estudio que intenta determinar en qué obras, y dentro de ellas en qué partes, es posible la incorporación de estos desechos, teniendo en cuenta la posibilidad de modificación de las características mecánicas del material cementicio, y la movilización ya sea por lixiviación de los elementos contaminantes o erosión del hormigón que los contiene.

1. Profesor Universidad Nac. del Sur. San Juan 670. 8000 Bahía Bca. TE: 0291-4595184. FAX: 0291-4595148. email: [cuartropumas@terranel.com.ar](mailto:cuartropumas@terranel.com.ar) - [smarfil@criba.edu.ar](mailto:smarfil@criba.edu.ar)
2. Investigador Principal CONICET.
3. Investigador Adjunto s/d CIC.

## INTRODUCCION

La inclusión de cenizas, consideradas sustancias peligrosas, dentro de una matriz cementicia, supone la estabilización y contención de los productos que libres podrían movilizarse al medio ambiente. Los polvos de acería, deshechados por la industria, y acopiados sobre suelo natural y al aire libre, producen un impacto ecológico negativo, debido tanto a las dimensiones de las partículas, como a su composición química. La estabilización del polvo de acería con cemento es una de las técnicas disponibles para reducir la movilidad de materiales contaminantes (1). Otras técnicas contemplan el encapsulado y la solidificación.

Los metales pesados presentes en el residuo principalmente bajo la forma de óxidos, hidróxidos, sulfatos y carbonatos son incorporados en los intersticios de la matriz cementicia. El alto PH de la pasta cementicia tiende a mantener los metales bajo la forma de hidróxidos insolubles y sales de carbonato. Las características físicas y químicas del residuo pueden afectar notablemente la performance del mortero, disminuir la solidez de la unión entre las partículas, el residuo y el agente estabilizador. Por ejemplo, los compuestos orgánicos pueden modificar el fragüe del cemento, el porcentaje de partículas menores a  $74\mu$  pueden alterar la adherencia, la presencia de compuestos clorados o sulfatados modifican en el futuro la matriz cementicia y disminuyen la efectividad del tratamiento. Debe tenerse en cuenta que la estabilización no se usa como método para reducir la concentración de metales en el residuo, sino para aminorar la habilidad de los metales para lixiviarse.

En este trabajo se propone una forma de estabilización, y un método de trabajo y a partir de esto se sacan conclusiones evaluando los resultados obtenidos sobre las muestras con inclusiones y sin ellas, y en función de los porcentajes de residuo utilizado (este valor se determina empíricamente) y se cuantifica si existe lixiviación de los componentes presentes.

## MATERIALES EMPLEADOS

### Polvo de acería

**Características físicas:** Es un material pulverulento de color pardo oscuro, de tamaño nominal de partícula menor de  $10\mu$  con una distribución de tamaños variables, los cuales se estudiaron a través del análisis granulométrico y con el uso de técnicas ópticas. Se trata de partículas muy finas, que presentan una gran tendencia a aglomerarse (debido a su comportamiento como material ferromagnético). Por ello es muy importante utilizar un método que permita una buena dispersión antes de realizar la granulometría.

Se tomó una muestra de polvo de acería, se secó a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante, luego se tamizó mecánicamente durante treinta minutos, a través de cada uno de los tamices de la serie que se indica a continuación, tratando de evitar el aglutinamiento de las partículas (2).

TAMIZ ( $\mu$ )	Ret. (%)
840	0.34
297	5.81
125	26.48
88	9.22
74	14.05
44	20.34

La granulometría se realizó también por vía húmeda utilizando para lavar un líquido indiferente a los polvos, y se obtuvo un resultado muy similar al indicado anteriormente, lo que indica que se pudo lograr la dispersión a la que hacía referencia. Es de hacer notar que casi un 24 % de las partículas son menores de 44  $\mu$ . Se determinó la densidad absoluta, empleando la misma norma que para cemento (IRAM 1624) (7), dando un valor en todas las muestras evaluadas de 3.623 g/cm<sup>3</sup>.

**Análisis químico:** La composición química fue analizada por ICP, determinándose que está constituido por Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en más del 50 %, con elevados contenidos de ZnO, CaO y cantidades subordinadas de MgO, SiO<sub>2</sub>. Es escasa la cantidad de MnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O y hay trazas de Cr, Ni y Cu.

**Análisis mineralógico:** El estudio mineralógico se realizó por difracción de rayos X para lo que se utilizó un difractor Rigaku D max- III C con radiación de Cu K y monocromador, con 35 Kv y 15 mA. Se identificó magnetita predominante (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) y/o magnesioferrita (MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), con cantidades subordinadas de cincita (ZnO) y hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Si bien la magnetita y la magnesioferrita son espinelas isomorfas, se concluyó que la mayor parte del material analizado es magnetita debido a sus características químicas y ferromagnéticas.

**Agua – cemento – arena:** En todas las mezclas se trabajó con agua destilada. Se utilizó cemento portland normal, (clasificado por la fábrica como CP40), de una misma procedencia y de una misma partida. Se realizaron los ensayos físicos que a continuación se detallan y se obtuvieron los resultados que se indican:

Tiempo de fragüe inicial (IRAM 1619) (8) . . . . . 2h 40m  
 Tiempo de fragüe final (IRAM 1619) (8) . . . . . 3h 45m  
 Pasta normal (IRAM 1612) (9) . . . . . 24.7 %  
 Superficie específica Blaine (IRAM 1623) (10) . . . . . 3185 cm<sup>2</sup>/g  
 Material retenido sobre tamiz 74 $\mu$  (IRAM 1621) (11) . 0.95 %  
 Resistencia a la comp. 28d (IRAM 1622) (12) . . . . . 46.9 MPa

Las muestras se elaboraron con una arena natural, constituida predominantemente por cuarzo (80%) y cantidades menores de rocas graníticas y areniscas silíceas. En muy escasa proporción, y concentrado principalmente en las fracciones de menor tamaño se identificaron fragmentos de vulcanitas básicas y minerales opacos. Son escasos los clastos de calcedonia. La arena responde a una curva granulométrica continua, comprendida entre los límites A y B de la norma IRAM 1627, y su módulo de finura es 2,35.

## Morteros

**Clase:** Se elaboraron tres tipos de morteros, manteniendo constante el tipo de cemento, la calidad del agua de mezclado y de curado, y la clase de arena, sólo se varió la relación agua/cemento. Se tomaron tres valores 0,40, 0,50 y 0,60 para tener matrices cementicias diferentes. Se moldearon muestras y se determinaron sus características mecánicas y petrográficas, con lo cual se obtuvieron patrones de referencias. A cada una se le adicionó polvo contaminante en cantidades de 5, 10 y 15 % respecto al peso del cemento. La elección de la cantidad fue empírica ya que no se encontró bibliografía que hiciera referencia a cantidades ideales máximas para estabilizar. Siempre se sugiere elegir un valor, hacer pruebas y sacar conclusiones. En la mayoría de los casos citados se trabaja con suelo cemento, con distintos tenores de aglomerante con lo cual logran una solidificación y estabilización del residuo. Se considera que este proceso es diferente para morteros. Se realizaron tres clases de morteros patrones (A, E, I) y nueve clases con adición de polvos, incorporados en distintas cantidades (B, C, D, F, G, H, J, K, L), como se indica en la tabla 1.

Tabla 1: Dosificación

Tipo	Relac. a/c	Relac. En peso	% respecto al cemento
A	0.40	1:2,23	-
B	0.40	1:2,23	5
C	0.40	1:2,23	10
D	0.40	1: 2,23	15
E	0.50	1:3,00	-
F	0,50	1:3,00	5
G	0.50	1:3,00	10
H	0.50	1:3,00	15
I	0.60	1:3,76	-
J	0.60	1:3,76	5
K	0.60	1:3,76	10
L	0,60	1:3,76	15

## Técnica de elaboración

Se moldearon barras de 40x40x160 mm para la determinación de la resistencia a la compresión y módulo de rotura, según lo indicado en la norma IRAM 1622. Se hicieron juegos de nueve barras para ensayos de resistencia a siete y a veintiocho días; y las necesarias para estudios petrográficos.

Una vez desmoldadas las muestras se sumergieron en agua a 20 °C hasta la fecha de ensayo. Se muestreo dicha agua de curado y se hizo una evaluación química de los compuestos presentes. Se curaron en forma independiente cada grupo de probetas. Las muestras para realización de ensayos de lixiviación se hicieron en moldes de vidrio cilíndricos de 160mm de largo x 14 mm de diámetro. Se

compactó el mortero en tres capas con una varilla de vidrio. Las probetas se retiraron del molde en el momento en que se iba a comenzar el ensayo. De cada pastón se obtuvieron tres muestras.

Al trabajar con moldes de vidrio se logran probetas con buena terminación superficial y sin defectos visibles de llenado, ya que las burbujas se pueden corregir durante el moldeo.

## ENSAYOS REALIZADOS

Los estudios realizados se pueden clasificar en cinco grupos:

- Petrografía del mortero.
- Estudio del periodo de fragüe.
- Ensayos mecánicos.
- Análisis químicos de las aguas de curado.
- Ensayos de lixiviación

## RESULTADOS OBTENIDOS

**Petrografía del mortero:** Se realizaron cortes delgados de las probetas con diferentes porcentajes de adiciones a fin de evaluar las características del mortero, textura, grado de compacidad y establecer diferencias con las barras patrón.

Del estudio petrográfico se concluyó que no hay diferencias entre las probetas patrón elaboradas con diferentes relaciones agua cemento. En los tres casos el mortero presenta muy buena compacidad y adherencia con los clastos del agregado. No se observaron bordes difusos, ni coronas de reacción. Hay escasas microfisuras, delgadas y en todos los casos vacías, consideradas normales por contracción durante el fragüe. En la fotomicrografía Nº 1 se muestra una imagen de la probeta patrón con relación a/c 0.50.

De la comparación de las muestras patrón con las que contienen polvo de aceria se observó un aumento en la carbonatación de la pasta y mayor porosidad aunque los poros son de menor tamaño- En la barra con 15 % de adición los poros se presentan parcial o totalmente rellenos de carbonato de calcio. Este fenómeno también se observó en el mortero aunque el carbonato se distribuye homogéneamente sellando los interespacios vacíos.

La fotomicrografía Nº 2 corresponde a la probeta con a/c 0.50 y 15 % de adición, donde se observa la abundante carbonatación (c), tanto en la pasta como en el interior de cavidades y en los contornos de los agregados (q: cuarzo), así como el incremento en la porosidad (p).

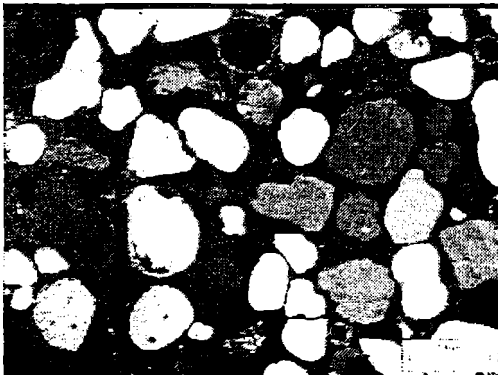
**Estudios de fragüe:** Un aglomerante hidráulico cuando se mezcla con agua para obtener una pasta de consistencia normal (3), presenta sucesivamente dos fenómenos distintos que se desarrollan en el tiempo.

- a) Aumento relativamente brusco de viscosidad acompañada de la elevación de la temperatura de la pasta: comienzo de fragüe.
- b) Transformación progresiva y regular de la pasta en un bloque rígido: fin de fragüe y comienzo de endurecimiento.

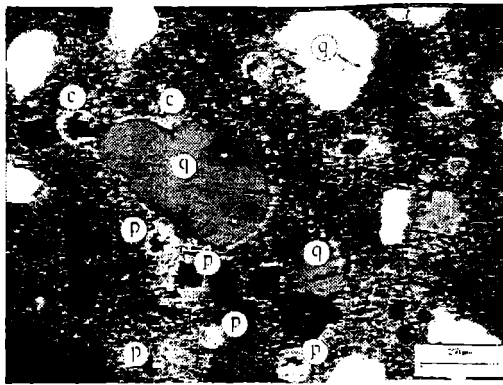
Los fenómenos indicados se vieron alterados en las pastas debido a la presencia de los polvos que contenían óxido de cinc, que aún en bajas concentraciones (menores a 0.01 %), retardan el principio de fragüe (4). Este compuesto soluble en agua actúa retardando la hidratación de los granos de cemento. Se realizaron ensayos comparativos de los tiempos de fragüe de pastas elaboradas con distintos porcentajes de adición, con respecto a los obtenidos para la pasta normal correspondiente al aglomerante y se observó un marcado retardo en el comienzo y fin de fragüe.

El fenómeno descrito para pastas se puso de manifiesto en los morteros realizados. Estos comenzaron a fraguar, luego de haber transcurrido aproximadamente veinte horas de su amasado. Debido a este retraso, las probetas podían ser desmoldadas a las cuarenta y ocho horas, considerándose que el mortero permanecía en estado fresco aproximadamente un día, y contándose los días para su ensayo a partir de la fecha en que la probeta comenzaba a estar en estado sólido. Durante el período en que el mortero permaneció en estado fresco no se manifestó fenómeno de exudación alguna.

El tiempo de comienzo de fragüe se vio retardado en todas las probetas que contenían polvo pero este retraso aumentaba levemente con la relación agua/cemento y el porcentaje de adición. Las muestras que tuvieron comienzos de fragües más retardados son las correspondientes a relación a/c: 0.60 y cantidad de polvo 15%.



Fotomicrografía N° 1: Probeta patrón a/c 0.5



Fotomicrografía N° 2: a/c 0.50 + 15 % polvo

**Ensayos mecánicos de flexión y compresión:** En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos donde es posible observar que los morteros con adición de polvo tienen un módulo de rotura superior con respecto a los patrones. En cambio en los ensayos de compresión los resultados son similares entre las muestras patrón y con adiciones.

**Ensayos químicos del agua de curado:** Luego de cumplido el tiempo de curado se analizó la composición del material precipitado a fin de identificar la presencia de materiales que pudieran ser contaminantes. Por DRX se identificó la presencia de carbonato de calcio (calcita).

Tabla 2: Ensayos mecánicos de flexión y compresión

Tipo	Relación a/c	% peso	en: Edad (días)	Módulo de Rotura (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	Edad	Módulo de Rotura (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)
A	0,40	-	7	5,97	43,4	28	6,29	60,9
B	0,40	5	7	7,16	41,7	28	7,40	54,2
C	0,40	10	7	7,16	42,5	28	7,50	62,3
D	0,40	15	7	7,42	41,1	28	7,60	62,2
E	0,50	-	7	5,31	28,8	28	5,87	46,6
F	0,50	5	7	5,48	30,2	28	5,51	43,3
G	0,50	10	7	5,14	32,5	28	5,64	49,1
H	0,50	15	7	5,48	35,6	28	5,87	49,8
I	0,60	-	7	4,52	20,6	28	5,45	31,7
J	0,60	5	7	4,77	23,9	28	4,77	33,1
K	0,60	10	7	4,47	22,6	28	4,84	34,1
L	0,60	15	7	4,70	22,1	28	4,87	33,0

**Ensayos de lixiviación:** Las muestras patrón ( relación a/c 0,4 y 0,6) y las correspondientes con 15 % de adición de polvo de acería fueron sometidas a un tratamiento en autoclave a 150 °C y 150 atmósferas de presión durante 24 horas con el propósito de establecer diferencias en el comportamiento de cada una y obtener información de su evolución en el tiempo. Luego de secadas a peso constante se comprobó que habían perdido los siguientes porcentajes:

Muestra	Patrón	15 % adición
A/c 0.4	3.84 %	6.72 %
A/c 0.6	3.86 %	6.07 %

El líquido residual fue analizado por ICP (Espectrometría de emisión con plasma de argón), obteniéndose las siguientes tendencias: Se observó gran movilidad del Si, elementos alcalinos, Ti, V, Mn, Ni, Cu, Zn y As. Es débil la movilidad del Al, Mg y Co y errática la del Cr y del Fe.

El cromo se moviliza enormemente cuando la probeta contiene 15 % de adición y la relación a/c es 0.6. Llega a moverse casi en tres órdenes de magnitud, mientras que el hierro sólo aumenta aproximadamente el 30 % y es más pronunciado en la probeta con relación a/c 0.40.

Observada la superficie externa de las probetas con adiciones luego de ser sometidas al tratamiento de autoclave, se reconocieron formas cristalinas superficiales que corresponden principalmente a carbonatos de Ca, Zn y Fe (calcita, smithsonita, siderita).

## DISCUSION DE LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados de las propiedades mecánicas de los morteros estudiados, evidencian que no se ven muy alteradas por la presencia de los polvos, usados éstos en porcentajes inferiores al 15% respecto al peso del cemento.

En todos los ensayos de flexión se vio que los morteros que contienen polvo tienen un módulo de rotura algo superior con referencia a los patrones. En cambio los ensayos a compresión no evidencian grandes diferencias. Esto se debe a que en general todas las variaciones que se producen en la estructura de poros se pone rápida y claramente de manifiesto en los ensayos donde existen fibras traccionadas, no haciéndose notar de igual forma cuando todas las fibras están comprimidas.

Los ensayos de lixiviación indican gran movilidad de algunos elementos, especialmente en las probetas con adiciones, entre los que se destacan algunos considerados contaminantes (Cr, V, Zn, Cu, As).

## CONCLUSIONES

1. En principio parecería una solución la estabilización de estos polvos en matrices cementicias, pero hay que tener en cuenta que la degradación de los

mortero en el tiempo permitirá la migración de los contaminantes al medio que los rodea.

2. Los estudios químicos y mecánicos deben complementarse con análisis mineralógicos y texturales para la evaluación de la degradación de un residuo dentro del hormigón. Estos permiten observar el área exacta en estudio y el efecto de la presencia de los polvos de acería, sin alterar las características de la muestra como ocurre con todas las pruebas anteriormente mencionadas.
3. Los estudios petrográficos y mineralógicos permiten evaluar el grado de alteración, los productos secundarios producidos y los caminos seguidos por éstos, consideraciones que llevan a orientar el estudio hacia el concepto de durabilidad y los factores que pueden modificar el buen desempeño del mortero u hormigón cuando es adicionado con materiales como los utilizados en esta experiencia.
4. Los ensayos realizados tendientes a evaluar la evolución en el tiempo de los materiales contaminantes incorporados a morteros y hormigones deben intensificarse para establecer tendencias estadísticas que definan el comportamiento.
5. Es importante establecer las condiciones fisicoquímicas que regulan la movilidad de los elementos químicos involucrados ya que la precipitación casi inmediata de elementos (carbonatos en la superficie de la probeta) y la gran solubilidad de otros (cromo) debe ser investigadas con profundidad puesto que determinarán las características de depositación final del mortero u hormigón adicionado con polvos de acería.
6. Los morteros u hormigones que contengan polvos estabilizados deberían estar siempre identificados. por ejemplo, con un pigmento colorante, ya que si estos restos se usaran en hormigones reciclados, o como relleno, se incorporarían nuevamente los materiales que en una primera etapa estaban estabilizados

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, a la CIC de la Prov. de Bs. As. y al CONICET por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS

- (1) Berlov J. and Kelnam J. "Best demonstrated available technology. Tomo IV EPA 530 – SW – 009D (1988).
- (2) Dominguez E. A. and R. Ullmann. "Ecological bricks made with clays and steel dust pollutants". Applied Clay Science. 11. (1996). 237-249
- (3) Venuat M. "Controle et essays des ciments, mortiers, betons". Editoria Eyrolles. Paris. (1996).

- (4) Papadakis M. "Fabricación, característica y aplicaciones de los diversos tipos de cemento". Editorial Editores Tecnicos S.A. (1988)
- (5) Klich I. "Mineralogical alterations that affect the durability and metals content of aged solidified and stabilized wastes". Cement and concrete research 29 (1999). 1433-1440.
- (6) Neville y Brooks. "Tecnología del concreto". Editorial Trillas (1998).
- (7) IRAM 1624. Cemento Pórtland. Determinación de la densidad absoluta (1962)
- (8) IRAM 1619 "Cemento Pórtland. Método de determinación del tiempo de fraguado". (1982).
- (9) IRAM 1612 "Cemento Pórtland. Determinación de consistencia de pasta normal" (1982).
- (10) IRAM 1623 "Cemento Pórtland. Determinación de la superficie específica por permeametría". (1965).
- (11) IRAM 1621. "Cemento Pórtland. Ensayo de finura por tamizado húmedo" (1982)
- (12) IRAM 1622. "Cemento Pórtland. Método de determinación de la resistencia a la compresión y flexión" (1973).