

## MORTEROS CEMENTICIOS CON POLVOS DE ACERÍA. SU IMPACTO AMBIENTAL

Señas L.<sup>a,b</sup>, P. Maiza<sup>a,c</sup>, S. Marfil<sup>a,d</sup> y J. Valea<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Profesor Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. Bahía Blanca. TE: 0291-4595184. FAX: 0291-4595148

<sup>b</sup> [cuatroplumass@surlan.com.ar](mailto:cuatroplumass@surlan.com.ar)

<sup>c</sup> Investigador Principal CONICET

<sup>d</sup> Investigador Adjunto s/d CIC. [smarfil@criba.edu.ar](mailto:smarfil@criba.edu.ar)

La industria del acero genera desechos, que acopiados al aire libre y por la acción de los agentes climáticos, contaminan el medio ambiente.

El propósito del presente trabajo es evaluar el impacto ambiental que produce la incorporación de polvos de acería a matrices de cemento portland, sometidas a condiciones de humedad, presión y temperatura.

Se caracterizó químicamente el material de desecho de una acería de Argentina, para identificar los elementos presentes. Se elaboraron diferentes morteros de cemento portland y se incorporó este material en diferentes porcentajes. Se moldearon probetas normalizadas para realizar ensayos mecánicos, de lixiviación y estudios petrográficos.

Se analizó la composición química del agua de curado de las probetas y del líquido obtenido en ensayos de lixiviación.

Los resultados permitieron identificar y cuantificar los elementos peligrosos que pueden ser incorporados al ambiente y sugerir medidas de prevención.

**Palabras clave:** polvos de acería – concreto – medio ambiente

### 1. INTRODUCCIÓN

Se analizó la composición química, morfología, tamaño y estructura cristalina de un polvo de acería, con el objeto de evaluar su estabilización en una matriz cementicia. Por su composición química y la metaestabilidad de los componentes, es un material contaminante, especialmente por la presencia de elementos tales como Cr, V, Zn, Pb, Cd, entre los más concentrados.

Se incorporó 5, 10 y 15 % de polvo, con respecto al peso del cemento en morteros de relación agua/cemento 0.4, 0.5 y 0.6. Se moldearon probetas normalizadas con y sin adición a los efectos de poder comparar los resultados.

En trabajos previos se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de las barras, se estudió la petrografía de los morteros con adición de polvos y se compararon con las muestras patrón [1,2].

En el presente trabajo se analizó la movilidad de distintos elementos químicos mediante ensayos de lixiviación evaluándose el impacto que provocarían al medio ambiente. El objetivo es definir las condiciones para estabilizar al material utilizado en los ensayos al ser incorporados al mortero, evaluar la incidencia en la calidad física y comportamiento mecánico y minimizar que su degradación perturbe al medio ambiente estableciendo condiciones de uso y garantizando dentro de parámetros controlables su inocuidad.

Es escasa la información disponible acerca del impacto que provocan estos materiales ya que la mayor parte de la

bibliografía disponible se concentra en evaluar la performance y durabilidad de materiales [3] y alertan sobre la posibilidad de percolar las capas superiores del suelo y contaminar el agua subterránea de las capas freáticas [4].

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material particulado se obtuvo de una industria de la Prov. de Bs. As (Argentina). Su composición se determinó por difracción de rayos X, SEM – EDAX y análisis químicos.

Se elaboraron tres tipos de morteros, manteniendo constante el tipo de cemento, el agua y la arena, sólo se varió la relación agua/cemento (0,4, 0,5 y 0,6) para tener matrices cementicias diferentes. Se moldearon barras de 40x40x160 mm y se determinaron sus características mecánicas y petrográficas, con lo cual se obtuvieron los patrones de referencia.

A cada uno de los morteros se le adicionó polvo de acería en cantidades de 5, 10 y 15 % respecto al peso del cemento. La elección de la cantidad fue empírica ya que no se encontraron referencias de cantidades usadas para este tipo de ensayos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Polvo de Acería:

El polvo de acería es un material pulverulento de color pardo oscuro, constituido por partículas menores de 10  $\mu$  con una distribución de tamaños variable.

Son partículas muy finas, que presentan una gran tendencia a aglomerarse (debido a su comportamiento como material ferromagnético).

La densidad absoluta es de 3,623 g/cm<sup>3</sup>.

Composición (%)											
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZnO	LOI
54.77	5.85	1.58	2.70	4.33	9.10	0.38	1.02	0.10	0.34	10.50	9.10
Elementos traza (ppm)											
V	Cr	Co	Ni	Cu	Pb	As	Bi				
137	1720	18	164	948	445	25	5				

Tabla I: Análisis químico del polvo de acería

#### 3.2 Análisis químico

En la tabla I se observa que el polvo de acería está constituido en forma predominante por Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, con abundante CaO y ZnO.

#### 3.3 Componentes Cristalinos:

El estudio de los compuestos cristalinos se realizó por difracción de rayos X. Se identificó Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (magnetita), predominante y/o MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (magnesioferrita), con cantidades subordinadas de ZnO (cincita) y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematita) [7]. Si bien el Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> y el MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> son espinelas isomorfas, se concluyó que la mayor parte del material analizado es Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> debido a los valores de los análisis químicos y a sus propiedades ferromagnéticas.

La morfología observada por SEM muestra partículas esféricas y planares. Se analizó su composición química global por EDAX identificándose Ca predominante con cantidades menores de Fe, O, Si, Mg, Zn, Mn y escasa cantidad de Mo. El análisis de la composición de las partículas esféricas indica un predominio de Fe, asociado con Ca, Si, Mg, Zn y escaso Mo. Las formas planares están constituidas principalmente por Ca y O, adjudicados a portlandita.

#### 3.4 Elaboración de las Barras

Se realizaron morteros patrones con cemento portland normal [5], arena natural [6] (constituida por 80 % de cuarzo y cantidades menores de rocas graníticas y areniscas silíceas) y agua destilada, con relación agua cemento 0.4, 0.5 y 0.6 a los que se adicionó 5, 10 y 15 % de polvo.

Se compararon los tiempos de fragüe de las pastas elaboradas con distintos porcentajes de adición, con los

obtenidos para la pasta normal correspondiente al aglomerante y se observó un marcado retardo en el comienzo y fin de fragüe.

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%.

#### 3.5 Ensayos Mecánicos de Flexión y Compresión [8]:

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. Esto es debido a que las variaciones que se producen en la estructura de poros se ponen rápida y claramente de manifiesto en los ensayos donde existen zonas traccionadas, no haciéndose notar de igual forma cuando las fibras están comprimidas.

#### 3.6 Análisis Químico del Agua de Curado:

Los materiales compuestos de cemento portland deben mantenerse en agua durante el período de ganancia de resistencia, tiempo al que se denomina "curado".

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

Por ICP se determinó la composición del agua de curado. Se analizaron 48 elementos. En la tabla II se muestran los valores de los principales contaminantes.

V	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As	Cd
22.9	10.6	43	0.302	32.8	14.5	3.1	0.6	3.5	0.03

Tabla II: Análisis químico del agua de curado (ppb)

### 3.7 Petrografía del morteo

Se realizaron secciones delgadas de las probetas para su estudio con microscopio de polarización, a fin de evaluar las características del mortero, textura, grado de compacidad y establecer diferencias con las barras patrón. De la comparación de las muestras patrón con las que contienen polvo de acería se observó un aumento, en las últimas, de la carbonatación de la pasta y de la porosidad, aunque los poros son de menor tamaño. En las barras con adición, especialmente en las de 15 %, 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 espacios vacíos.

.Probeta	Br	V	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd
a/c 0.4										
Patrón	416	28	23	88	0.1	0	86	20	50	0.4
15 % polvo	2530	48	1	150	0.1	68	69	12	76	0.3
a/c 0.6										
Patrón	519	48	4160	124	0.2	4	121	33	43	0.6
15 % polvo	2390	83	6010	152	0.2	22	29	13	89	0.3

Tabla III: Análisis químico del líquido residual, de los ensayos de lixiviación (ppb).

### 3.8 Ensayos de Lixiviación

Las probetas enteras, moldeadas con mortero de relación agua/cemento 0.4 y 0.6 y las que contenían 15 % de polvo de acería respecto del cemento, fueron sometidas a un tratamiento en autoclave a 150 °C, 150 atmósferas de presión en agua destilada durante 24 horas. Las pérdidas de peso en las probetas con relación a/c 0.4 se incrementaron de 3.84 % en la muestra patrón a 6.72 % en la muestra con 15 % de adición. Los resultados, cuando se trabajó con relación a/c 0.6 fueron similares (3.86 % y 6.07 % respectivamente).

Con estereomicroscopio pudo observarse que la superficie externa de las probetas con adición presentaban depósitos de sales principalmente de calcio y cinc y muestran un claro proceso de decoloración. El cemento y la adición han sido movilizados con intensidad.

El líquido residual luego de realizados los ensayos de lixiviación, se analizó por ICP. Los resultados se muestran en la tabla III

De los resultados obtenidos puede observarse un incremento en el contenido de Br, V, Ni, Fe y As. El Cr se incrementó notablemente en la muestra con relación a/c 0.6, aunque el contenido de este elemento en la a/c 0.4 fue prácticamente nulo. No hay lixiviación de Co ni Cd. El contenido de Cu ha disminuido respecto a las muestras patrón.

### 3.9 Comparación de la Movilidad de los Elementos Químicos:

En las condiciones de lixiviación mencionadas se determinó que algunos elementos presentan gran movilidad aunque un porcentaje importante queda retenido en las probetas. Este fenómeno se atribuyó a que la superficie específica de las probetas es muy baja y sólo está expuesta al proceso químico, el polvo próximo a la superficie. Los elementos que presentaron mayor movilidad son Cr, As, V, Zn y Br.

## 4. CONCLUSIONES

- La incorporación de polvos contaminantes en matrices cementicias es una solución para su estabilización, durante un período de tiempo prudencial. La degradación del mortero provocará la migración de elementos contaminantes al medio ambiente a medida que los procesos exógenos afecten a las partículas encapsuladas.
- De los resultados de los ensayos puede concluirse que las propiedades mecánicas de las probetas adicionadas con polvos no se alteran, aunque se produjo un leve incremento en la resistencia a la flexión, fenómeno que no se manifestó en los ensayos de compresión. Esto se atribuye a que los fenómenos “de poro”, por pequeños que sean, se ponen de manifiesto en las zonas traccionadas.
- Se produjo un retardo en el comienzo de fragüe en todas las probetas que contenían polvo y este retraso aumentaba levemente con el incremento de la relación agua/cemento y el porcentaje de adición. Esto se atribuyó a la presencia de ZnO en el polvo.
- El estudio petrográfico revela un incremento en la carbonatación y en la porosidad del mortero a medida que aumenta el contenido de polvo de acería.
- Los ensayos de lixiviación permitieron identificar elementos liberados al medio tales como V, Ni, Cr

- Cu, Zn, Fe, As y Cd. El aumento de la cantidad de elementos lixiviados de las probetas con adición de polvo se debe, a su movilidad intrínseca y al incremento de la permeabilidad a medida que progresa el proceso químico.
- Es necesario realizar mayor cantidad de ensayos a fin de evaluar la movilidad de los elementos involucrados para poder predecir el comportamiento que tendrán concretos con polvos en el tiempo. Este ensayo permitirá evaluar el período de degradación de los morteros y/o concretos con el transcurso del tiempo.
  - Si bien en este trabajo se analizó el comportamiento de las probetas enteras, deberán realizarse ensayos con las mismas, trituradas a diferentes granulometrías ya que la lixiviación dependerá de la superficie expuesta a la acción de los fluidos involucrados.
  - Es importante destacar que los morteros o concretos elaborados con estos polvos deberían estar identificados, para evitar que al ser reciclados y expuestos a condiciones de lixiviación, puedan liberar los elementos contaminantes que encierran.

- [7] ICDD. International Centre for Diffraction Data. Mineral powder diffraction file, Databook, 1993.
- [8] IRAM 1622, Cemento Portland. Método de determinación de la resistencia a la compresión y flexión, 1973.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As. y al CONICET por el apoyo brindado y al Ing. Guillermo Cabo y al Sr. Rodolfo Salomón de la UNS por la colaboración en la realización del presente trabajo.

## 6. REFERENCIAS

- [1] L. Señas; P. Maiza; S. Marfil y J. Valea. Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería, **18**, 2002, pp. 122-129.
- [2] L. Señas; P. Maiza; S. Marfil y J. Valea.. "14ta. Reunión Técnica", organizada por Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Olavarría, **II**, 2001, pp. 19-28.
- [3] I. Klich; B. Batchelor; L. P. Wilding and L. R. Drees. Mineralogical alterations that affect the durability and metals containment of aged solidified and stabilized wastes, Cement and Concrete Research, **29**, 1999, pp. 1433-1440.
- [4] E. A. Domínguez. and R. Ullmann. Ecological bricks made with clays and steel dust pollutants, Applied Clay Science, **11**, 1996, pp. 237-249.
- [5] IRAM 1612 Instituto de Racionalización argentino de Materiales, Cemento Portland, Determinación de consistencia de pasta normal, 1982.
- [6] IRAM 1633, Arena natural, 1965.