



Comportamiento de morteros y hormigones con la adición de suelos contaminados con hidrocarburos y metales pesados

Behaviour of mortar and concrete with the incorporation of soil contaminated with hydrocarbons and heavy metals

Señas, L. ¹ - Priano, C. ¹ ✉ - Maiza, P. ²⁻³ - Marfil, S. ²⁻⁴

Recibido: 22 de Diciembre de 2011 • Aceptado: 19 de Marzo 2012

Resumen

El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento de una matriz cementicia con la incorporación de un suelo que contiene hidrocarburos y metales pesados, y si ésta es capaz de retenerlos, o son lixiviados hacia el medio.

Se elaboraron morteros cementicios y hormigones, en los que se reemplazó parte del agregado fino con distintos porcentajes del suelo con hidrocarburos. Se determinaron las características físicas de los materiales y propiedades mecánicas como resistencia a flexión y compresión desarrolladas a diferentes edades.

Se estudió la microestructura mediante cortes delgados y microscopio, y se realizaron ensayos de lixiviación en muestras de mortero de edad superior a 90 días.

Si bien la inclusión del suelo produjo una disminución de la resistencia a compresión del hormigón, ésta puede considerarse aceptable para elaborar un material de relleno. Además, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de lixiviación, el método propuesto es viable para la estabilización de los suelos analizados.

Palabras claves: mortero, hormigón, hidrocarburos, lixiviación.

Abstract

The objective of this work is to evaluate the behavior of a cementitious matrix with the incorporation of a soil with hydrocarbons and heavy metal and if it can hold them or they are leached to the environment.

Cementitious mortar and concrete were elaborated with the replacement of part of the fine aggregate by different percentage of soil with hydrocarbons. The physic characteristics of the materials and the mechanic properties (flexural and compressive strength) developed at different ages were determined.

¹ Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.
Av. Alem 1253. 8000 Bahía Blanca.
Te: 0291-4595101. Int. 3223..

✉ cpriano@uns.edu.ar

² Dpto. de Geología UNS. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca.
0291-4595101. Int. 3021.

³ Investigador Principal CONICET.

⁴ Investigador Independiente CIC.

The microstructure was studied by thin section and microscope and leaching tests were made in mortar samples of age upper than 90 days.

Even though the soil included decreased the compressive strength of the concrete, it can be considered acceptable to elaborate a filler material. Besides considering the results obtained in the leaching test, this method is able to stabilize the soils studied.

Keywords: mortar, concrete, hydrocarbons, leaching.

INTRODUCCIÓN

Los residuos de la industria petrolera que contaminan el suelo, se pueden desplazar subterráneamente por gravedad o capilaridad, por ello es necesario desarrollar procedimientos que impidan la movilidad hacia capas más profundas del terreno, especialmente en aquellos que puedan alcanzar la capa freática.

Una opción de remediación es la estabilización, que sirve para detener el movimiento o la lixiviación de los contaminantes. Esta técnica se emplea para prevenir o reducir significativamente la migración de los productos orgánicos e inorgánicos en suelos y aguas subterráneas (Ortiz Bernad *et al.* 2006).

Las técnicas de estabilización/solidificación, se realizan a través de procesos físicos y químicos, ya sea convirtiéndolos en formas menos solubles, tóxicas (estabilización) o encapsulando el material contaminado en una estructura sólida de gran integridad estructural (solidificación) (Suthersan, 1997). El término 'inmovilización' incluye métodos físicos y químicos tanto para solidificar como para estabilizar los residuos. (Wilson *et al.* 2002). La lixiviación puede ser definida como el proceso por el cual un componente del residuo es removido mecánica o químicamente incorporándose una solución, por el pasaje de un solvente como el agua (La Grega *et al.* 1996). Se pueden utilizar dos procedimientos de estabilización: métodos de tratamiento in-situ, que no requieren la remoción del suelo o métodos de tratamiento ex-situ, que requieren la remoción del residuo, o bien la excavación de los suelos (Sepúlveda, 2002).

Los suelos contaminados con bajos porcentajes de hidrocarburos derivados del petróleo, se pueden estabilizar si se los mezcla con cemento y obtener suelo-cemento, o además incorporarle arena y piedra para obtener mortero u hormigón. Hay que diferenciar del procedimiento llamado encapsulación, el cual se realiza utilizando silicatos. Se usa sílice para microencapsular hidrocarburos en una matriz de sílice impermeable, no porosa y amorfa. La estabilización mencionada es apropiada para ser utilizada en suelos que contienen residuos inorgánicos de metales pesados y bajos niveles de hidrocarburos, ya que las altas concentraciones de contaminantes petroleros en la matriz del suelo pueden interferir con los procesos de fragüe y ganancia de resistencia del cemento (Wiles, 1997).

Tanto la estabilización in-situ como ex-situ, son procedimientos de realización sencilla, llevados a cabo con equipos comúnmente disponibles en el mercado. Cuando el proceso de estabilización se lleva a cabo in-situ, es difícil llegar a una mezcla uniforme. El tratamiento ex-situ permite un mejor control, ya que el suelo es mezclado con cemento y agregados en una planta dosificadora.

El proceso de estabilización, usando una matriz de cemento para la disposición de residuos requiere del estudio del comportamiento del producto final, a través de la realización de ensayos físicos y químicos, para salvaguardar el medio

ambiente de la polución indeseable. El factor más importante es determinar si la técnica propuesta es efectiva en el tratamiento de una clase particular de residuo y la reducción en un corto o largo término de su lixiviación.

En el presente trabajo se estudió un caso particular de un suelo con hidrocarburos y metales pesados de la zona sur de la Patagonia Argentina (Provincia de Santa Cruz). Se utilizó un método "ex-situ" para la estabilización a través de la inclusión en matrices cementicias. Se evaluó el desempeño del material obtenido y el impacto en el medio ambiente.

Si los hidrocarburos y metales pesados presentes en el suelo en estudio quedan contenidos dentro de la matriz cementicia, ésta puede ser utilizada como base o sub-base en pavimentos destinados a tránsito o acopio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron dos materiales cementicios: morteros y hormigones, los cuales se proyectaron y evaluaron en dos etapas consecutivas. En la primera se analizó el comportamiento de las inclusiones en morteros y de acuerdo a los resultados obtenidos, se fijaron las pautas para continuar a una escala superior de aplicación en obras civiles como el hormigón.

En la elaboración de ambos materiales se utilizó cemento portland compuesto, proveniente de una fábrica de la provincia de Chubut. Se determinó la densidad absoluta (IRAM 1624) y el peso de la unidad de volumen suelta.

Se utilizó canto rodado como agregado grueso y arena natural como agregado fino, ambos provenientes de yacimientos ubicados en cercanías de los suelos a tratar. Se determinaron los siguientes parámetros: densidad a granel y porcentaje de vacíos (IRAM 1548), densidad relativa (IRAM 1520) y módulo de finura (IRAM 1627).

Los morteros y hormigones se elaboraron con agua desmineralizada.

Las características de los materiales utilizados en la elaboración de los morteros y los hormigones se indican en la Tabla 1 y la granulometría de la arena utilizada, en la Tabla 2.

El suelo incorporado como reemplazo del agregado fino proviene del sustrato de un repositorio de desechos de la industria petroquímica. Estos residuos contienen metales pesados (plomo, cromo, zinc, cobre, bario) e hidrocarburos. Los análisis químicos se realizaron en un laboratorio que cumple con la norma ISO 17205 y está acreditado por el Organismo Argentino de Acreditación. Los resultados se detallan en la Tabla 3.

Morteros cementicios

Se dosificaron diferentes morteros y se moldearon seis juegos de tres probetas prismáticas de 4x4x16 cm cada uno, siguiendo la metodología indicada en la norma IRAM 1622.

Tabla 1. Características de los materiales utilizados.

Tipo	Cemento CPC40	Agregado fino Arena natural	Agregado grueso Canto rodado	Suelo c/hidrocarburos y metales pesados
Densidad	2950 kg/m ³	---	---	1479 kg/m ³
Densidad a granel	1400 kg/m ³	1520 kg/m ³	1770 kg/m ³	973 kg/m ³
Densidad relativa	---	2,59	2,66	---
% de vacíos	---	41	33	---
Módulo de finura	---	2,92	6,81	---
Humedad	---	---	---	15 %

Tabla 2. Granulometría de la arena.

Tamiz	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100
Acumulado que pasa (%)	100	99	88	59	38	20	4

Tabla 3. Análisis químico del suelo con hidrocarburos.

Parámetros	Método	Unidad	Contenidos
pH relación 1:1	EPA 9045 C	UpH	6,5
Conductividad de la pasta	SAMLA	µS/cm	312
Hg	EPA 7471 B	mg/kg	< 0,5 ND
Pb	EPA 3050 B/7420	mg/kg	< 20,0
Cd	EPA 3050 B/7130	mg/kg	< 10,0
Cr total	EPA 3050 B/7190	mg/kg	20,3
Zn	EPA 3050 B/7950	mg/kg	43,1
Cu	EPA 3050 B/7210	mg/kg	13,5
As	SM 3030 G/3500-As B	mg/kg	< 10,0
Ba	EPA 3050 B/7080	mg/kg	67,8
Se	EPA 3050 B/7740	mg/kg	< 2,0
Hidrocarburos totales	EPA 3550 C/418.1	mg/kg	29,3
Naftaleno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Acenaftileno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Acenafteno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Fluoreno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Fenantreno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Antraceno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Fluoranteno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Pireno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Benzo(a)antraceno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Criseno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Benzo(b)fluoranteno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Benzo(k)fluoranteno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Benzo(a)pireno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Dibenzo(a,b)antraceno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Benzo(g,h,i)perileno	EPA 3550 C/8310	mg/kg	< 0,1
Humedad	SM 2540 G	% p/p	10,5

Las muestras denominadas MP corresponden a los morteros patrón (sin reemplazo de arena por suelo). En las siguientes dosificaciones se reemplazó 10% (M10), 20% (M20), 40% (M40) y 50% (M50) en peso, de la arena por suelo con hidrocarburos. Siempre se mantuvo la relación agua/cemento $a/c = 0,50$, y la fluidez constante (ASTM C-230). Esto se realizó así para poder comparar los resultados obtenidos con los del patrón. Además, se moldeó otra batería de probetas con igual fluidez que las anteriores, pero con una relación $a/c = 0,62$ y un reemplazo del 50% (M50*), con la finalidad de observar el comportamiento cuando se usa un menor tenor de cemento. Las correspondientes dosificaciones se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Dosificaciones de los morteros.

Muestra	% suelo a/c	cemento (kg)	arena (kg)	suelo (kg)	Densidad (kg/m ³)
MP	0% 0,50	501	1502	----	2253
M10	10% 0,50	544	1180	131	2127
M20	20% 0,50	554	965	241	2037
M40	40% 0,50	575	620	413	1895
M50	50% 0,50	580	485	485	1840
M50*	50% 0,62	485	504	504	1795

En la Figura 1 se muestra un conjunto de las probetas prismáticas con diferentes porcentajes de suelo.

Se estudió la evolución del fraguado de los morteros con distinto porcentaje de reemplazo, para evaluar la influencia del suelo con hidrocarburos, en el tiempo de principio y fin de fragüe (*norma IRAM 1619*).

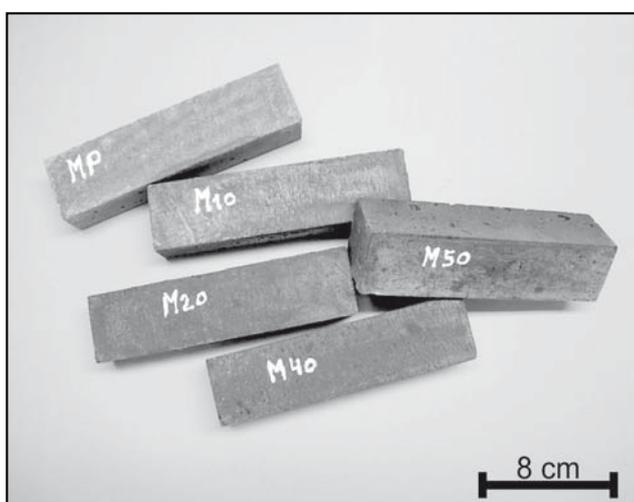


Figura 1. Conjunto de probetas prismáticas.

Se realizaron ensayos de flexión y compresión sobre las barras prismáticas de cada una de las diferentes dosificaciones, a la edad de 3; 7; 28; 45; 90 y 180 días (*IRAM 1622*).

Se realizó un análisis petrográfico con microscopio Olympus trinocular B2-UMA, con una cámara de video Sony 151A incorporada, monitor de alta resolución, procesador de imágenes Image Pro Plus versión 3.1 y programas computarizados para tratamiento de imágenes.

Todos los morteros elaborados (patrón y con diferentes porcentajes de reemplazo con suelo con hidrocarburos), fueron sometidos a un proceso de lixiviación en autoclave (tipo Morrey) a 150°C y 150 atmósferas de presión, en agua destilada durante 24 hs. Finalizado este proceso, se recuperó el líquido para el análisis de los elementos en solución. Los análisis químicos se realizaron en Actlabs (Canadá) por ICP-OES.

Luego del ensayo, cada mortero fue lavado, llevado a peso constante y pesado. Además se controló el pH de la solución.

Hormigones

Se dosificaron diferentes hormigones y se moldearon probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para cada uno de ellos (*IRAM 1534*).

Las muestras denominadas HP corresponden a los hormigones patrón (sin reemplazo de arena por suelo). En las siguientes dosificaciones se reemplazó 10% (H10), 20% (H20), 40% (H40) y 50% (H50) en peso, de la arena por suelo con hidrocarburos. Siempre se mantuvo la relación agua/cemento $a/c = 0,50$ y un ámbito de consistencia entre 6 y 8 cm. Además, se moldeó otra batería de probetas con igual asentamiento que las anteriores, pero con una relación $a/c = 0,62$ (HP*) y un reemplazo del 50% (H50*), con la finalidad de observar el comportamiento cuando se usa un menor tenor de cemento. Las correspondientes dosificaciones se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Dosificaciones de los hormigones.

Muestra	% suelo a/c	cemento (kg)	arena (kg)	suelo (kg)	Canto rodado (kg)
HP	P 0,50	330	819	----	1050
H10	10% 0,50	330	737	82	1050
H20	20% 0,50	330	655	164	1050
H40	40% 0,50	330	491	328	1050
H50	50% 0,50	330	410	410	1050
HP*	P 0,62	282	867	---	1050
H50*	50% 0,62	282	433	433	1050

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos en morteros

La incorporación del suelo, en cualquiera de los porcentajes utilizados, aumentó el tiempo de principio y fin de fragüe con respecto al mortero patrón, en alrededor del 10%. Una vez iniciado el proceso de endurecimiento, éste continuó con

normalidad. En todas las muestras, el principio de fragüe se mantuvo aproximadamente en 2 horas y el fin de fragüe se extendió hasta 4 horas y 15 min.

Los resultados de los ensayos a flexión y compresión para todos los morteros, a las edades de 3, 7, 28, 45, 90 y 180 días, se detallan en las Tablas 6 y 7 y en las Figura 2 y 3, respectivamente.

Tabla 6. Módulo de rotura a flexión para todas las dosificaciones y diferentes edades.

Morteros	Módulo de rotura a flexión (MPa)					
	Edades (días)					
	3	7	28	45	90	180
MP	4,8	5,4	6,4	6,6	7,0	8,7
M10	4,4	4,7	5,6	5,9	6,6	7,2
M20	3,8	4,1	5,2	5,5	5,9	6,8
M40	3,0	3,6	4,6	5,2	5,6	6,3
M50	2,7	3,3	4,2	4,8	4,9	5,2
M50*	2,4	3,2	3,9	4,1	4,5	4,9

Tabla 7. Resistencia a compresión para todas las dosificaciones y diferentes edades.

Morteros	Resistencia a compresión (MPa)					
	Edades (días)					
	3	7	28	45	90	180
MP	22,5	27,7	41,1	42,4	43,4	47,5
M10	19,7	27,1	36,6	38,9	41,4	45,8
M20	16,1	22,8	30,3	33,2	33,7	41,5
M40	11,0	15,4	25,8	29,7	32,0	35,9
M50	10,7	15,1	22,1	26,2	26,9	35,4
M50*	10,5	15,0	16,3	20,0	24,1	27,4

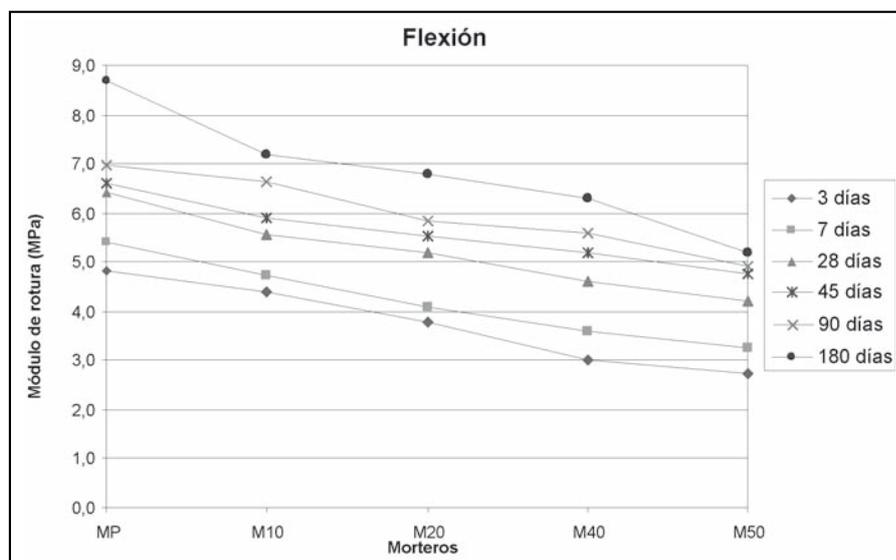


Figura 2. Módulo de rotura a flexión para todos los morteros y diferentes edades.

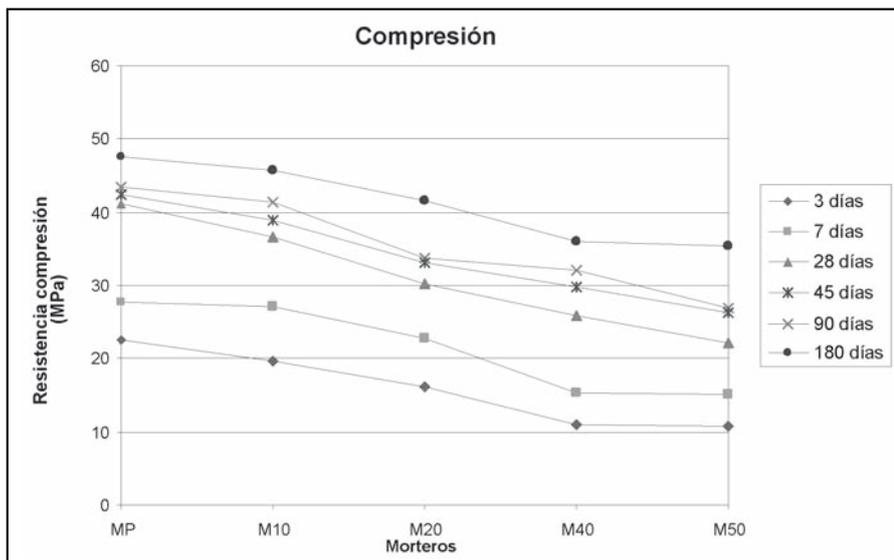


Figura 3. Resistencia a compresión para todos los morteros y diferentes edades.

Las resistencias en ensayos de flexión y compresión disminuyeron con el aumento del porcentaje de suelo incluido en la matriz, para todas las edades.

La ganancia de resistencia en el tiempo es más lenta a medida que es mayor el porcentaje de suelo incorporado. Los morteros ensayados a tres días dieron pérdidas del orden de 50% respecto al patrón, en cambio estas diferencias disminuyeron hasta el 25% a la edad de 180 días.

En la Figura 4 se observa la zona de fractura de las probetas ensayadas a flexión. La distribución de las partículas de suelo con hidrocarburos incluidas en la matriz cementicia, es homogénea.

Ensayos en hormigones

Los resultados de los ensayos a compresión para todos los hormigones, a las edades de 7, 28 y 45 días, se detallan en la Tabla 8 y en la Figura 5.

Tabla 8. Resistencia a compresión para todas las dosificaciones y diferentes edades.

Hormigones	Resistencia a compresión (MPa)		
	Edades (días)		
	7	28	45
HP	21,5	29,4	29,9
H10	19,5	26,7	28,6
H20	19,0	23,9	27,0
H40	18,2	22,4	25,3
H50	16,6	22,3	24,8
HP*	18,4	22,6	25,8
H50*	11,3	16,4	20,9

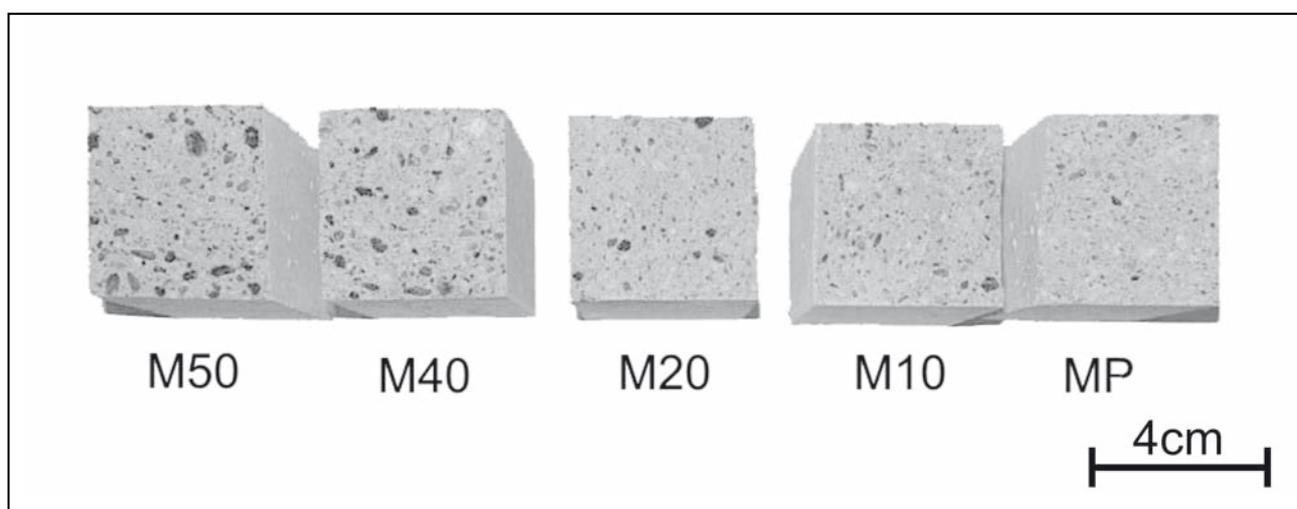


Figura 4. Morfología de la zona de fractura de los diferentes morteros.

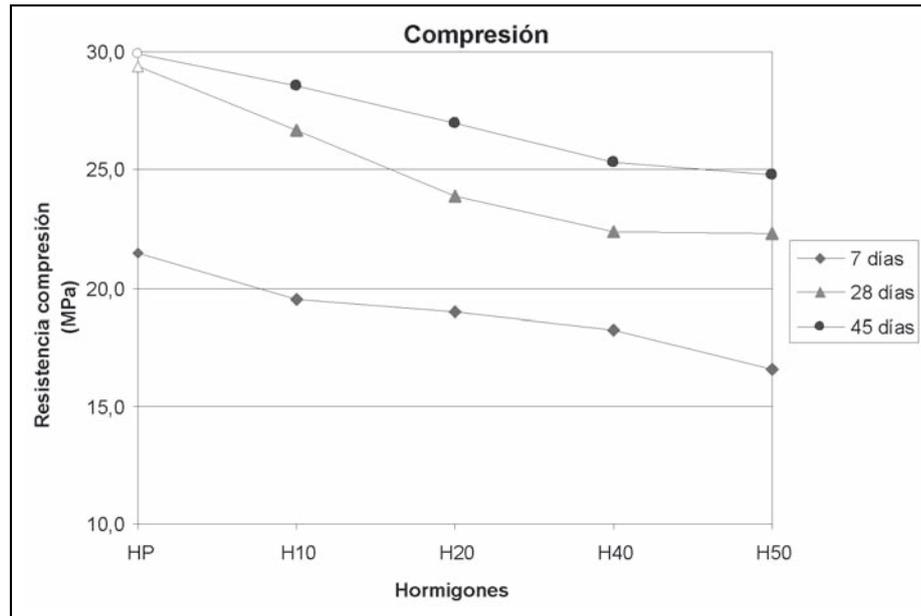


Figura 5. Resistencia a compresión para todos los hormigones y diferentes edades.

Del análisis de los resultados surge que la inclusión del suelo, generó una disminución de la resistencia a compresión en todas las edades de ensayo, mayor a medida que se aumentó el porcentaje de reemplazo. Esta pérdida es del 5% en el H10 y 17% en el H50.

En el hormigón, el volumen del mortero es aproximadamente del 60% y el resto lo constituye el agregado grueso, por lo tanto es razonable que los valores de pérdida de resistencia sean menores que en el mortero para la misma relación a/c y el mismo porcentaje de reemplazo.

Se observa que la pérdida de resistencia respecto al patrón a la edad de 28 días es superior que la registrada a 45 días, para ambas relaciones a/c = 0,50 y 0,62. Se hace notar que se utilizó cemento compuesto con puzolanas y que las resistencias finales se obtienen a mayores edades.

En la Figura 6 se observan partículas de suelo con hidrocarburos en la zona de fractura, producida en el ensayo de compresión de una probeta cilíndrica. Estas inclusiones permanecen adheridas a la matriz cementicia, lo que indica un buen vínculo en la zona de interfase con el mortero.

Petrografía

La arena utilizada está constituida principalmente por rocas volcánicas (más del 50 %) entre las que predominan las andesíticas sobre las riolíticas. En menor proporción se identificaron: cuarzo, feldespatos, rocas graníticas, cuarcitas, vidrio volcánico y escasos piroxenos. En la Figura 7.a se muestra la composición de la arena (con luz paralela). La Figura 7.b es la misma con nicóles cruzados.

En la Figura 8.a se muestra la microestructura del mortero patrón. La Figura 8.b corresponde al M10. No se observaron variaciones en el mortero respecto del patrón. En el mortero M20, (Figura 8.c) si bien no hay modificaciones en la microestructura, aparecen algunas microfisuras muy finas y vacías. Se observa material carbonoso (opaco) atribuible a materia orgánica. En las

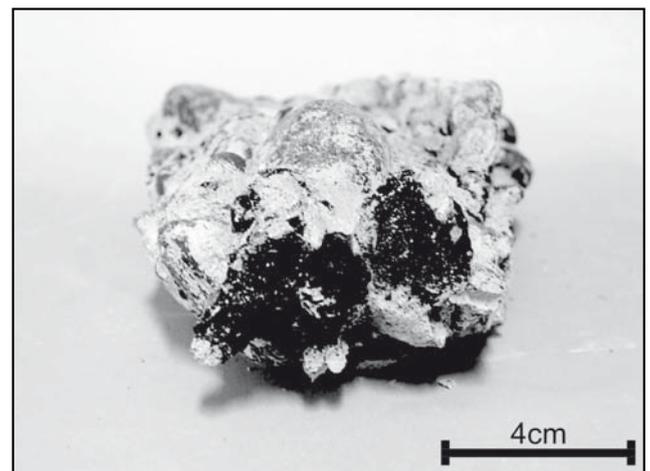


Figura 6. Aspecto de la zona de fractura de una probeta de hormigón.

muestras M40 (Figura 8.d) se observa un mayor contenido de partículas opacas correspondientes a la adición. Al incorporar 50% de material, se observa la textura del mortero modificada por la materia orgánica (Figura 8.e). Hay microfisuramiento que en algunos casos afecta las partículas del agregado fino (Figura 8.f).

Ensayos de lixiviación

En la Tabla 9 se indica la composición química de la solución de lixiviación analizada. No se detectó la presencia de As, Be, Bi, Cd, Co, Ag, Ce, Cr, Ba, Pb, Ni, P, Sn, Se, Ti, Tl, Y, W, Sb, Fe, Al.

En la solución luego del ensayo de lixiviación, se identificaron además de compuestos orgánicos, K, Si, Na, Ca, S y muy escasa cantidad de Mg, Mn, Cu, Li, Mo, Sr, U, V y Zn.

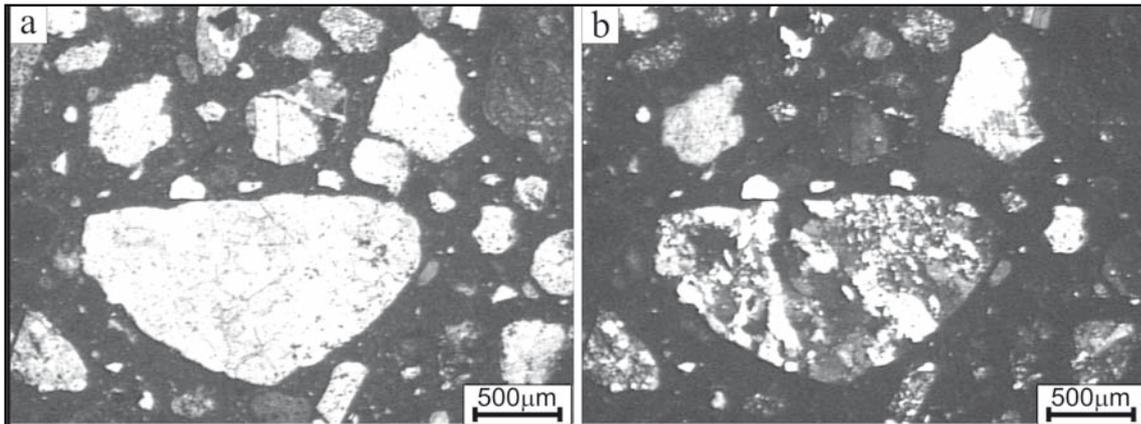


Figura 7. Composición mineralógica del agregado fino. a. Con luz paralela. b. Con nicoles cruzados.

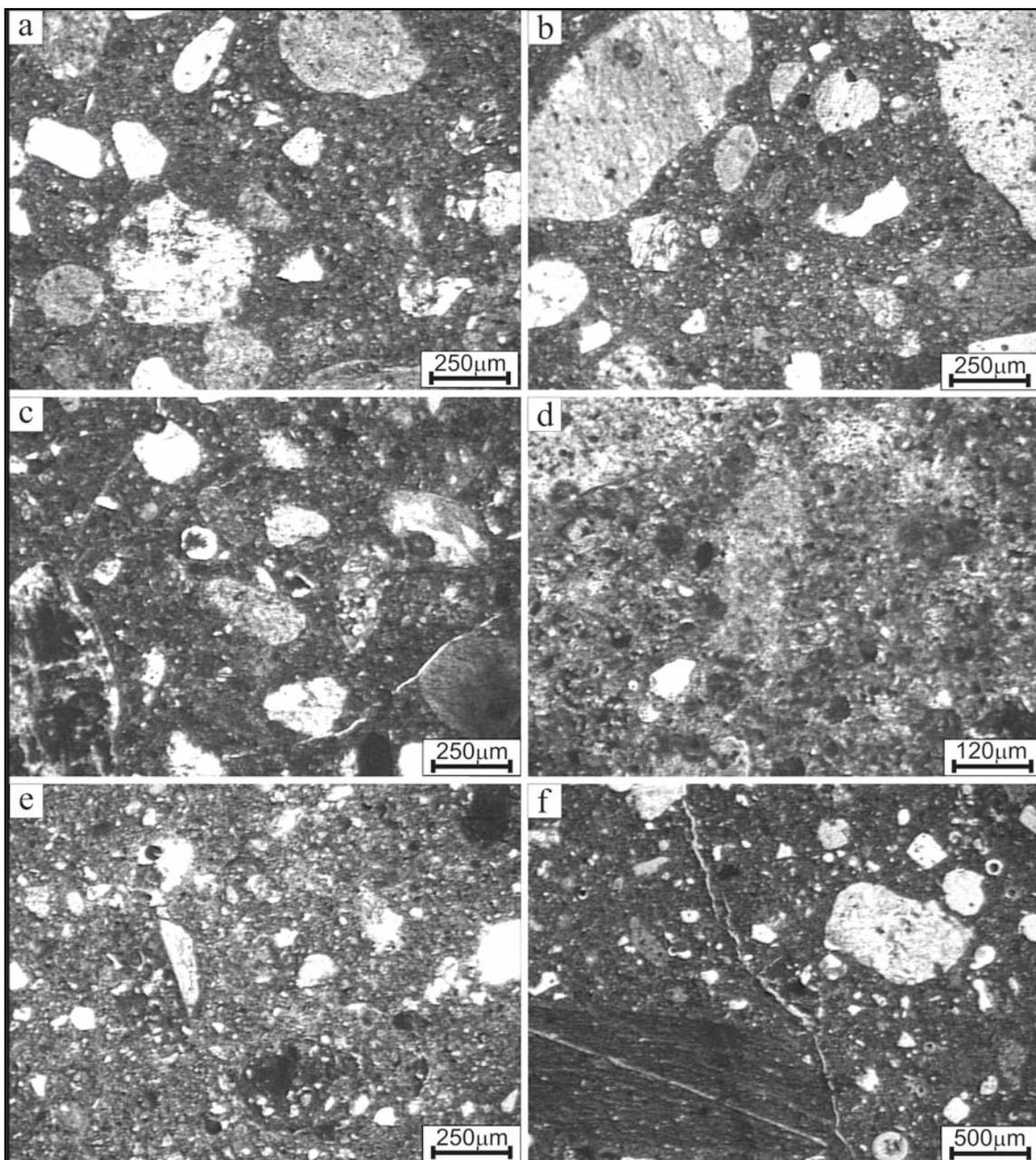


Figura 8. Petrografía de los morteros sobre secciones delgadas con luz paralela. a. Mortero patrón. b. M10. c. M20. d. M40. e. y f. M50.

Tabla 9. Análisis químicos de la solución luego del ensayo de lixiviación. NPOC: Carbono orgánico total.

	NPOC	K	Mg	Mn	Si	Ca	Cu	Li	Mo	Na	S	Sr	U	V	Zn
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l
Límite de detección	0,01	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	2	0,05	5	0,1	1	10	0,05	10	5
MP	0,00	2,6	0,2	0,00	169,1	4,5	0	0,00	16	75,2	31	40	0,16	240	< 5
M10	22,3	23,4	0,2	0,00	237,1	3,1	0	0,12	53	134,6	40	20	0,24	270	112
M20	77,8	18,4	0,4	0,10	208,1	2,7	3	0,15	26	130,6	41	10	0,23	220	20
M40	69,9	19,8	0,2	0,01	136,1	0,1	6	0,00	19	124,6	34	0	0,23	160	168
M50	163,0	34,3	0,2	0,01	137,1	1,2	5	0,00	23	203,6	49	20	0,30	40	6
M50*	142,0	33,0	0,1	0,00	178,1	1,0	8	0,10	19	150,6	41	30	0,25	30	5

Con excepción del V que disminuye a partir del 20% de adición, el contenido del resto de los elementos mencionados se incrementa con el contenido de suelo. Sin embargo para una adición del 50% el incremento en la relación agua/cemento disminuye el contenido de elementos lixiviados. El comportamiento del Zn es aleatorio.

En la Tabla 10 se muestran los resultados de la pérdida de peso luego del ensayo de lixiviación y el pH medido en la solución.

Tabla 10. Pérdida de peso y pH medido en la solución.

Muestra	Pérdida de peso (%)	pH
MP	1,71	7,5
M10	1,95	8,0
M20	2,59	8,0
M40	3,21	8,0
M50	3,32	7,8
M50*	4,63	7,5

A partir de los resultados de los ensayos de lixiviación se determinó un incremento en la pérdida de peso de los morteros con el aumento en el contenido de adición y de la relación a/c.

El pH de la solución luego de concluido el ensayo, se mantuvo en valores que oscilan entre 7,5 y 8.

CONCLUSIONES

En todos los casos estudiados, la inclusión de suelo con hidrocarburos en los morteros, modificó levemente el principio y fin de fragüe.

Las resistencias mecánicas, tanto en morteros como en hormigones, disminuyeron para todas las edades, a medida que aumentó el porcentaje de suelo incluido en la matriz.

La ganancia de resistencia en el tiempo es más lenta a medida que es mayor el porcentaje de suelo incluido. Los morteros ensayados a tres días dieron pérdidas del orden de 50% respecto al patrón, en cambio estas diferencias disminuyeron hasta el 25% a la edad de 180 días.

De los estudios petrográficos realizados sobre cortes delgados de los morteros puede concluirse que si bien se observaron modificaciones en la microestructura a partir del 20% de adición, estas características no afectan su calidad y están principalmente relacionadas con la presencia de materia orgánica en la pasta cementicia.

A partir del 20% de adición se observó la aparición de microfisuras. Afectan solo a la pasta y se presentan vacías. En el mortero con 50% de reemplazo, en algunos casos, también se presentan afectadas las partículas del agregado.

A pesar de las rigurosas condiciones del ensayo de lixiviación, la pérdida de peso es poco significativa. La movilidad de los elementos mayoritarios, especialmente Ca y Mg, es muy baja, factor que podría atribuirse como una contribución a la inmovilización de los hidrocarburos.

A pesar que la inclusión del suelo produjo una disminución de la resistencia a compresión del hormigón, ésta puede considerarse aceptable y, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de lixiviación, el método propuesto es viable para la estabilización de los suelos analizados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, a la Comisión de Investigaciones de la Provincia de Buenos Aires y al CONICET por el apoyo brindado.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ASTM C230-08, 2008

Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.
American Society for Testing and Materials, 6 pp.

IRAM 1520, 2002

Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 14 pp.

IRAM 1534, 2004

Hormigón. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 15 pp.

IRAM 1548, 2003

Agregados. Determinación de la densidad a granel y de los espacios vacíos.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 11 pp.

IRAM 1619, 2006

Cemento. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 10 pp.

IRAM 1622, 2006

Cemento portland. Determinación de resistencias mecánicas.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 25 pp.

IRAM 1624, 2005

Cemento. Método de ensayo para la determinación de la densidad.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 9 pp.

IRAM 1627, 1997

Agregados. Granulometría de los agregados para hormigones.
Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 23 pp.

LA GREGA, M., BUCKINGHAM, P. EVANS, J., 1996,

Gestión de residuos tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos.
Mc Graw Hill, Vol II: 743-807, España.

ORTIZ BERNAD, I., SANZ GARCÍA, J., DORADO VALIÑO, M., VILLAR FERNÁNDEZ, S., 2006,

Técnicas de recuperación de suelos contaminados.
Informe de vigilancia tecnológica. CITME, CEIM, Universidad de Alcalá, 108 pp, Madrid.

SEPÚLVEDA, T., TREJO, J., 2002

Tecnologías de remediación para suelos contaminados.
62 pp, México.

SUTHERSAN, S., 1997

Remediation engineering: design concepts.
Ed. CRC Lewis Publishers, 362 pp, Boca Ratón.

WILES, C., 1997

Solidification and stabilization technology.
*Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal, Freeman, H. (Editor)
2ª Ed. McGraw-Hill, chapter 7: 31-46, New York.*

WILSON, D., BALKAU, F., THURGOOD, M., 2002

Solidificación y Estabilización. Manual de Formación en gestión de residuos peligrosos para países en vías de desarrollo.
Disponible en: <<http://www.uneptie.org/pc/hazardouswaste/menu>>.