

Incorporación de suelos contaminados con hidrocarburos en morteros cementíceos

Peralta Ring, Rocío, Delbianco, Natalia, Priano, Carla.

Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional del Sur.

Contacto: rocio.peraltar@uns.edu.ar



RESUMEN

Los suelos con hidrocarburos son desechos obtenidos de una industria petrolera de la provincia de Mendoza, detectados en un relevamiento de residuos industriales. Este material es una arenisca no consolidada que se genera en grandes volúmenes para la extracción de petróleo pesado. El objetivo de este trabajo es analizar la factibilidad de reciclar los suelos contaminados mediante su incorporación en morteros, evaluar el desempeño del material y el impacto en el medio ambiente. Se evaluaron las resistencias a compresión y flexión de morteros, incorporando los suelos con hidrocarburos como reemplazo parcial del agregado fino. Se realizó un ensayo de lixiviación del agua de curado de las muestras a los 56 días de edad. La incorporación de lodos con hidrocarburos en las mezclas de cemento es una alternativa posible para la disposición final de este residuo, sin afectar al medio ambiente.

ABSTRACT

Hydrocarbon soils are wastes obtained from an oil industry in the province of Mendoza, detected in an industrial waste survey. This material is unconsolidated sandstone generated in large volumes for the extraction of heavy oil. The work aims to analyze the feasibility of recycling contaminated soils by incorporating them into mortars, evaluate the performance of the material and the impact on the environment. Compressive and flexural strength of mortars were evaluated, incorporating soils with hydrocarbons as a partial replacement of the fine aggregate. A leaching test of the curing water of the samples was carried out at 56 days of age. The incorporation of hydrocarbon soils in cement mixtures is a possible alternative for the final disposal of this waste without affecting the environment.

Palabras clave: suelos contaminados, morteros, ambiente.

INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos son combustibles fósiles ampliamente utilizados alrededor del mundo como generadores fundamentales de diversas formas de energía que se encuentran en la naturaleza. Sin embargo, las operaciones relacionadas con la explotación y transporte de hidrocarburos conducen inevitablemente al deterioro gradual del ambiente. Afecta en forma directa al suelo, agua, aire, fauna y flora.

La industria petrolera es una actividad con gran contribución a la contaminación de suelos como un fenómeno global [1]. La producción mundial de petróleo ascendió a 4470 millones de toneladas anuales en 2018 [2]. Las empresas de operación de yacimientos de gas de alta presión y de extracción de crudo en yacimientos maduros con recuperación secundaria y terciaria desechan gran cantidad de residuos.

En un relevamiento realizado en la provincia de Mendoza, se detectaron suelos con hidrocarburos como residuo de una industria petrolera. En la formación productiva de la empresa relevada, se obtiene una arenisca no consolidada, por esa razón la metodología de extracción de hidrocarburos que utiliza se denomina CHOPS (Cold Heavy Oil Production with Sand). Es decir, es una técnica de producción de petróleo crudo pesado que consiste en provocar moderadamente la producción de arena con petróleo y de esa manera, se generan grandes volúmenes de sólidos. Los residuos generados por estas empresas son depositados en tambores, patios y fosas, previo a su tratamiento y disposición final.

Los métodos tradicionales de remediación para eliminar los productos del petróleo de los suelos incluyen la incineración, la actividad biológica y los tratamientos químicos. Estos tratamientos de remediación suelen dejar residuos de contaminantes en los suelos. Además, para aquellos que contienen una baja concentración de contaminación, estos métodos pueden ser caros y no ser efectivos. Existe un método de eliminación final de los suelos con petróleo con baja concentración mediante un enterramiento seguro y poco profundo. Sin embargo, con el aumento sustancial previsto de las cantidades de suelos contaminados con petróleo y la disponibilidad limitada de instalaciones de eliminación de residuos sólidos, es necesario investigar las opciones viables de reutilización de dichos suelos [3].

Otras alternativas para la gestión de los residuos son la incineración, biodegradación, fitoremediación, lavado y tratamiento, confinamiento, estabilización y solidificación, vitrificación, etc. [4]. En todos los casos, la selección del método apropiado depende de condiciones técnico-económico-ambientales, las cuales se encuentran limitadas por condicionantes particulares de cada sitio. Entre las

alternativas de remediación, la estabilización y solidificación se presenta como una opción ventajosa por su implementación, tanto *in situ* como *ex situ*, reduciendo notablemente los riesgos asociados con el manejo y transporte del suelo contaminado y por consiguiente, las posibles rutas de exposición y el peligro que genera [5].

La tecnología de estabilización/solidificación (E/S) de residuos es un proceso para reducir la peligrosidad de éstos, formando un material monolítico que permite reducir el área superficial expuesta a los agentes del medio ambiente [6]. El cemento es usado frecuentemente en el proceso E/S debido a su capacidad para unir químicamente líquidos libres, reducir la conductividad hidráulica de los residuos, encapsular partículas de desechos rodeándolas con una capa impermeable, fijar químicamente componentes peligrosos para reducir su solubilidad y facilitar la reducción de toxicidad de algunos contaminantes [7]. El proceso de estabilización, usando una matriz de cemento para la disposición final de los residuos requiere del estudio del comportamiento del producto final, a través de la realización de ensayos físicos y químicos [8].

Algunos autores sostienen que suelos contaminados con hidrocarburos pueden utilizarse potencialmente como materiales de construcción y reducir el impacto ambiental al resolver la disposición final de residuos de la industria petrolera [1, 9-13].

El objetivo del presente trabajo es estudiar el caso particular de un suelo con hidrocarburos, extraído del punto de acopio de una industria petrolera de la Provincia de Mendoza. Se propone analizar la factibilidad de reciclar los suelos contaminados mediante su incorporación en morteros cementícos y evaluar el desempeño del material y el impacto en el medio ambiente.

DESARROLLO

Materiales y métodos

En la primera etapa del trabajo se caracterizó el suelo con hidrocarburos (AH), obtenido como desecho de una industria petrolera en Mendoza (Figura 1).



Figura 1: Arena con hidrocarburos.

Se realizó un ensayo granulométrico según Norma IRAM 1505 [14]. Luego de realizada la caracterización, se decidió utilizarlo como reemplazo del agregado fino de morteros cementíceos. Para la elaboración de las mezclas se utilizó agua desmineralizada (para mezclado y curado), cemento proveniente de una fábrica de la provincia de Buenos Aires, caratulado como portland normal CPN40 y como agregado fino, una arena silíceas. Las arenas con hidrocarburos fueron incorporadas en cuatro proporciones diferentes de reemplazo de la arena: 25% (AH₂₅), 35% (AH₃₅), 50% (AH₅₀) y 100% (AH₁₀₀), respecto al peso de agregado, para comparar resultados con una muestra de referencia, sin incorporación del residuo (P_{AH}).

Se dosificaron morteros con relación agua/cemento de 0,50 y fluidez constante, a fin de comparar los resultados obtenidos con las muestras patrón. Se evaluó la fluidez en las mezclas frescas, siguiendo lo establecido en la Norma IRAM 1634 [15].

Se moldearon, 3 juegos de 3 probetas prismáticas de 4x4x16 cm para cada uno de los reemplazos de AH y para la muestra de referencia.

Las probetas fueron curadas con agua desmineralizada en recipientes separados, hasta su correspondiente edad de ensayo. El agua de las barras ensayadas a 56 días, para cada una de las diferentes dosificaciones, se reservó para su posterior análisis de lixiviación.

Para evaluar el desempeño mecánico de los morteros cementíceos, se realizaron ensayos de resistencia a flexión y compresión, según la metodología indicada en la norma IRAM 1622 [16], a la edad de 7, 28 y 56 días.

Resultados y discusión

A partir de una muestra representativa del suelo con hidrocarburos, se determinó mediante el ensayo de análisis granulométrico que el tamaño nominal de las partículas varía entre 0,149 mm y 2,4 mm. Por esta razón se incorporaron como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas cementíceas. En la tabla 1 se muestra el análisis granulométrico de la arena silíceas y de la contaminada con hidrocarburos.

Tabla 1: Análisis granulométrico.

Tamiz	Retenido Acumulado (%)	
	AH	Arena Silíceas
N°4	---	---
N°8	1	7
N°16	32	25
N°30	63	55
N°50	95	88
N°100	100	100

Al momento del moldeo de las barras se observó una pérdida de fluidez a medida que el porcentaje de AH incorporado aumentaba, de manera tal que fue necesario incrementar la cantidad de agua y cemento, manteniendo la relación de 0,50. En el caso de las muestras AH100, se debió utilizar además, un aditivo superfluidificante al 0,7%, respecto al peso del cemento, ya que se dificultó la trabajabilidad de la mezcla.

En las Figuras 2 y 3 se representan las resistencias a compresión y flexión, respectivamente, de todas las mezclas para las tres edades ensayadas: 7, 28 y 56 días.

Tabla 2: Elementos detectados mediante Espectrometría de Emisión Atómica.

Muestra	Al (mg/l)	As (mg/l)	B (mg/l)	Ba (mg/l)	Ca (mg/l)	Cr (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)
PAH	< 0.1	< 0.1	0.03	0.01	0.44	< 0.01	46	0.07
AH25	3.9	< 0.1	0.01	0.01	0.25	0.01	48	0.01
AH35	< 0.15	< 0.1	0.02	0.02	0.42	0.01	50	0.04
AH50	< 0.1	< 0.1	0.02	0.02	0.74	0.01	52	0.1
AH100	3.4	< 0.1	0.01	0.03	0.22	0.01	56	0.01

Tabla 3: Elementos detectados en mediante Espectrometría de Emisión Atómica.

Muestra	Na (mg/l)	Ni (mg/l)	P (mg/l)	S (mg/l)	Si (mg/l)	Sr (mg/l)	V (mg/l)
PAH	39	0.01	0.1	5.8	14	0.02	0.02
AH25	50	0.01	0.09	6.6	15	0.01	0.02
AH35	58	0.01	0.1	6.3	14	0.03	0.02
AH50	72	0.01	0.09	6.2	11	0.04	0.01
AH100	98	0.01	0.09	6.1	8.3	0.05	0.01

Se puede observar que la sustitución de AH por la arena silíceica genera, tanto una disminución de resistencia a compresión como a flexión, respecto a las muestras patrón para todas las edades ensayadas, a medida que aumenta la incorporación del residuo.

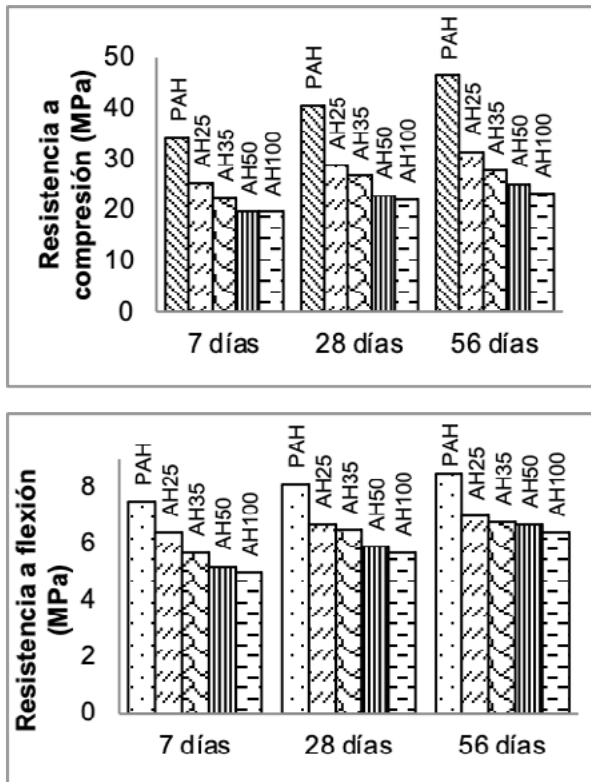


Figura 3: Resistencia a flexión.

Para todas las edades estudiadas, la pérdida de la resistencia a compresión es de hasta el 32% con sustituciones del 25% de AH, mientras que para dosis superiores, 35%, 50% y 100% de AH, la pérdida es del orden del 34%, 43% y 45% a los 28 días y del 40%, 46% y 50% a los 56 días, respectivamente. En el ensayo de flexión, la mayor merma (33%) se puede observar en las muestras AH100, a los 7 días de edad.

Se realizó el análisis de lixiviados en el líquido residual del agua de curado después de 56 días, utilizando Espectrometría de Emisión Atómica de plasma de acoplamiento inductivo. Las tablas 2 y 3 muestran los resultados de los elementos encontrados. Sólo se detectaron señales de emisión significativa para aluminio, calcio, sodio, azufre y silicio. Esto puede atribuirse al hecho de que los elementos mencionados forman parte de la composición química del cemento y no a la adición de los residuos. Todos los valores de los elementos peligrosos detectados por la prueba son inferiores a los límites permisibles establecidos por la Ley Provincial N° 5965 [17] para vertidos de aguas pluviales.

CONCLUSIONES

La incorporación de suelos con hidrocarburos en matrices cementíceas genera variaciones en las propiedades mecánicas de las muestras. A medida que el porcentaje de incorporación del residuo incrementa, las resistencias disminuyen. El mayor descenso de resistencia a compresión registrada, fue a los 56 días de edad, para la mezcla con el máximo contenido de residuo incorporado.

No se registraron contaminantes en el agua de curado que superaran los valores permitidos por la normativa provincial. Por tanto, se infiere que la incorporación del residuo no genera lixiviados peligrosos.

A partir de estos ensayos, se puede concluir que la incorporación de lodos con hidrocarburos en las mezclas de cemento es una alternativa posible para la disposición final de este residuo sin afectar al medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Khosravi, E., Ghasemzadeh, H., Sabour, M., Yazdani, H. (2013). Geotechnical Properties of Gas Oil-Contaminated Kaolinite. *Engineering Geology*, 166, 11–16.
- [2] OPEC: Organization of the Petroleum Exporting Countries 2019. *The OPEC Annual Report features a foreword by the Secretary General, reviews of OPEC Member Countries' economic performances and the world oil market, activities of the OPEC Secretariat and listings of OPEC officials*.
- [3] Samer Ezeldin, A., Vaccari, D., Lauren Bradford, S., Farouz, E y Mueller, R. (1992). Stabilization and solidification of hydrocarbon contaminated soils in concrete. *Journal of Soil Contamination*, 61-79.
- [4] Sharma, H., Reddy, K. (2004) *Geoenvironmental Engineering: Site Remediation, Waste Containment and Emerging waste Management Technologies*. John Wiley and sons. New Jersey, 15-20.
- [5] Francisca, F. (2010). Comportamiento de limos loessicos contaminados con hidrocarburos estabilizados y solidificados con cemento Portland. *Boletín Geológico y Minero*, 121 (2), 131-138.
- [6] Torres Agredo, J., Trochez Serna, J., Mejía de Gutiérrez, R. (2012). Reutilización de un residuo de la industria petroquímica como adición al cemento portland. *Ingeniería y Ciencia*, 8 (15), 141-156.
- [7] Reginald, B., Abir Al-Tabbaa, Y., Stegemann, J. (2012). PH dependent leaching behavior and other performance properties of cement-treated mixed contaminated soil. *Journal of Environmental Sciences*, 24 (9), 1630–1638.
- [8] Señas L., Priano C., Maiza P, Marfil S. (2012). Comportamiento de morteros y hormigones con la adición de suelos contaminados con hidrocarburos

- y metales pesados. *Revista de Geología aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 28, 35-44.
- [9] Diab, H. (2012). Compressive Strength Performance of Low and High-strength Concrete Soaked in Mineral Oil. *Construction and Building Materials*, 33, 25–31.
- [10] Ajagbe, W., Omokehinde, O., Alade, G., Agbede, O. (2012). Effect of Crude Oil Impacted Sand on Compressive Strength of Concrete. *Construction and Building Materials*, 26 (1): 9–12.
- [11] Hossein, S., Ali, M., Hasan, G. (2018). Effect of Diesel-contamination on Geotechnical Properties of Illite Soil. *Engineering Geology* 241, 55–63.
- [12] Hamad, B., Rteil, A., El-Fadel, M. (2003). Effect of Used Engine Oil on Properties of Fresh and Hardened Concrete. *Construction and Building Materials*, 17 (5), 311–318.
- [13] Almutairi, M. (2020). Effects of adding Kuwaiti oil-contaminated sand as a fine aggregate substitute on the engineering properties of hardened concrete, *Australian Journal of Civil Engineering*, 18 (2), 263-271.
- [14] IRAM 1505 (2019) *Agregados. Análisis granulométrico*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 20 pp.
- [15] IRAM 1634 (1963). *Cemento portland. Método para la determinación del contenido de aire en morteros*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 5 pp.
- [16] IRAM 1622 (2006). *Cemento portland. Determinación de resistencias mecánicas*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 25 pp.
- [17] Ley Provincial de Buenos Aires N° 5965. Resolución 336 / 2003 Anexo II. Parámetro de calidad de las descargas límites admisibles.