

Influencia de la contaminación con diésel en las propiedades geotécnicas de un suelo fino

Pamela GARCÍA-RAMÍREZ^{a,1} y Christian-Eduardo HERNÁNDEZ-MENDOZA^b

^aDivisión de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro

^bCONACyT, División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro

Resumen. El derrame de cualquier hidrocarburo contamina el suelo y puede propiciar el cambio en sus propiedades geotécnicas. Dependiendo del cambio en las propiedades del suelo, se puede llegar a poner en riesgo la estabilidad de la infraestructura presentes sobre suelos contaminados. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia que tiene la contaminación con diésel en las propiedades geotécnicas de una arcilla. La metodología consistió en extraer una muestra de arcilla no contaminada y posteriormente se contaminó con diésel para evaluar el efecto en sus propiedades ingenieriles en ambas etapas. Los resultados mostraron un cambio en la granulometría del suelo debido a la formación de flóculos, lo cual se atribuyó al efecto del contaminante en el suelo. Cabe mencionar que dicho flóculos no resultaron ser estables, ya que, al someterlos a una fuerza mayor que la ejercida durante el tamizado, estos se rompieron. Asimismo, no se observó un cambio significativo en la densidad del suelo ni en la de sólidos. En contraste, sí se presentó una modificación en los límites de consistencia del suelo contaminado respecto a su estado natural. Lo anterior influyó en el cambio de su clasificación SUCS, la cual paso de MH a una cercanía a la línea de transición de CH. A partir de esto se puede concluir que el suelo sufre modificaciones en su estructura, lo cual puede hacer que se clasifique incorrectamente en campo y que se seleccionen criterios de diseño que no sean adecuados para este tipo de suelo.

Palabras Clave. Propiedades geotécnicas, suelo fino, diésel.

1. Introducción

México se caracteriza por ser un país productor de petróleo, donde gran parte de las actividades que se realizan están orientadas a la exploración, producción, explotación, almacenamiento y distribución de hidrocarburos. Es por esto que la contaminación de suelos se ve en el territorio.

Se puede hablar de un suelo contaminado cuando este presenta modificaciones en sus propiedades físicas, químicas o biológicas y estas resulten en incompatibilidad con las propiedades funcionales de uso del suelo o amenacen la salud ambiental o pública [1].

¹ Corresponding Author, Pamela GARCÍA-RAMÍREZ, División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. México, Cerro de las Campanas, Centro Universitario, 76010 Santiago de Querétaro, Qro., México; E-mail: carmenchis3@gmail.com.

En México, los suelos contaminados se presentan, en algunos casos, por las tomas clandestinas de gasolina o diésel. Probablemente la arcilla sea un factor importante en la persistencia de sustancias tóxicas en el suelo, debido a que entre más pequeña la partícula, mayor el área superficial que aportan para la adsorción de los productos químicos [2].

La integridad de los usuarios y de las estructuras cimentadas sobre suelos contaminados, a causa de hidrocarburos, se ve comprometida debido a las modificaciones en las propiedades geotécnicas del suelo [3]. Estas modificaciones pueden resultar en fallas estructurales o funcionales de las estructuras, especialmente cuando se presenta un aumento en la plasticidad del suelo y pérdida de la capacidad de carga del suelo [4].

2. Antecedentes

Existen diversos estudios de las propiedades geotécnicas de suelos contaminados con hidrocarburos. Rahman et al. [5], investigaron un suelo contaminado con aceite de motor y observaron la disminución de los límites de consistencia, la densidad, la cohesión y la resistencia al corte del suelo. Por otro lado, Izdebska-Mucha y Trzcinski [6] analizaron un suelo contaminado con diésel observando que su índice de vacíos es alto por lo que presenta poca compacidad relativa. State [7], reportó el aumento en los límites de consistencia del material al analizar un suelo contaminado con petróleo crudo.

Oyegible y Ayininuola [8] encontraron una disminución en el índice plástico, la cohesión y el ángulo de fricción del suelo. Khosravi et al. [9], reportan un aumento en la cohesión y una disminución en el ángulo de fricción del suelo a medida que se aumenta el porcentaje de contaminante presente. Akinwuni [4], analizan un suelo con adición de petróleo crudo y reportan un aumento en los índices de consistencia del material y una disminución de la densidad, el peso volumétrico y el contenido de materia orgánica.

Martínez & López [10] realizaron pruebas a un suelo contaminado con diésel, gasolina y combustóleo, concluyendo que la presencia de los contaminantes provoca un aumento en el contenido de materia orgánica y por consecuencia un cambio en las propiedades físicas y químicas del suelo. Cabello-Suárez et al. [11] realizaron pruebas a un suelo contaminado con diésel, donde encontraron una disminución en el límite líquido y una disminución en el índice de compresibilidad en comparación con el suelo no contaminado.

Aunque en algunos estudios coinciden las propiedades revisadas, los efectos reportados difieren entre cada investigador, lo que dificulta la descripción del comportamiento de los suelos bajo la presencia de contaminantes derivados del petróleo. En este trabajo se investigará el comportamiento del suelo y las modificaciones de las propiedades geotécnicas ante la presencia de diésel.

3. Materiales y métodos

El suelo en estudio fue extraído del municipio Santa Rosa Jáuregui en el estado de Querétaro, México. El suelo en estado natural no se encuentra contaminado.

Para el proceso de contaminación del suelo, se añadió el contaminante hasta observar que el suelo permeó el contaminante.

3.1. Determinación de las propiedades geotécnicas del suelo

3.1.1. Suelo natural (no contaminado)

Las propiedades geotécnicas del suelo a analizar fueron el peso específico (γ_m), el contenido de humedad del suelo natural ($\omega\%$), los límites de consistencia del suelo: límite líquido (LL), límite plástico (LP), índice plástico (IP), límite de contracción volumétrica (CV), Densidad (S_S), el contenido de materia orgánica (MO), el pH, la superficie específica (S_E), la cohesión (c_u) y el ángulo de fricción (φ) del suelo. Las muestras de suelo contaminado fueron sometidas a temperaturas de 165 °C. Así como la clasificación SUCS y granulometría del suelo en estudio, usando como referencia la normativa ASTM. Se obtiene datos promedios y desviaciones estándar realizando 3 repeticiones de cada ensayo.

3.1.2. Suelo contaminado

A una muestra de suelo natural se agregó la cantidad de contaminante requerida para llevarlo a una saturación total. Para permitir la estabilización y homogeneización del material contaminado con adición de agua, este se dejó en reposo durante 48 horas. Una fracción del diésel fue expulsado del suelo por la presencia de agua [12]. La determinación del peso específico se llevó a cabo mediante cálculos matemáticos. Para el resto de las pruebas se siguieron los procedimientos de la normativa ASTM. Cabe mencionar que el diésel es de baja biodegradabilidad, es por ello su clasificación como contaminante. Posee una temperatura de ebullición de 163 °C, una viscosidad en un rango de 1.9 cSt a 4.1 cSt. a 40 °C y una densidad de 0.832 g/cm³ [13].

Tabla 1. Propiedades geotécnicas del suelo natural y el suelo contaminado.

Propiedad	Símbolo	Unidad	Suelo Natural	Suelo Contaminado
Contenido de líquidos		%	36.11 ± 0.77	13.33
Relación de vacíos	e		1.41	1.03
Porosidad	n	%	58.56	50.70
Grado de Saturación	G_w	%	45.31	20.20
Peso Específico	γ_m	T/m ³	1.54 ± 0.05	1.45
Densidad de Sólidos	S_S		2.73 ± 0.01	2.60 ± 0.01
Límite Líquido	LL	%	77.25 ± 0.36	83.98 ± 1.91
Límite Plástico	LP	%	35.78 ± 2.20	37.31 ± 1.04
Índice Plástico	IP	%	41.47 ± 2.53	46.67 ± 1.53
Contracción Volumétrica	CV	%	13.54 ± 0.46	13.43 ± 2.37
Clasificación SUCS			MH	MH
% Finos		%	92.40 ± 0.49	93.55 ± 0.21
% Arenas		%	07.35 ± 0.44	06.43 ± 0.18
Superficie Específica	S_E	m ² /g	276.06 ± 20.12	281.50 ± 21.59
Materia Orgánica	MO	%	6.08 ± 0.54	9.46 ± 0.98
pH			7.94 ± 0.14	6.98 ± 0.03
Cohesión	c_u	kPa	106.56	17.17
Ángulo de Fricción	φ	°	5.70	35.45

3.1.3. Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante

Para la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo natural y el suelo contaminado, se remoldearon tres probetas en cada estado, las cuales fueron sometidas a esfuerzos normales de 25 kPa, 49 kPa y 98 kPa. Para poder realizar la comparativa de las envolventes de falla, fue necesario mantener las condiciones de contenido de líquidos porcentual (respecto a masa de sólidos) en ambos estados del suelo. La humedad de las probetas se mantuvo en un rango de 12.54 % a 14.80 % en ambos casos. Como consecuencia de las condiciones no saturadas del material, se permitió una consolidación de 48 horas para permitir la disipación del aire por efecto de la carga de esfuerzo normal. La norma que fundamenta el proceso del ensaye fue la ASTM D3080/D3080M-11 [14], la cual indica que la deformación horizontal permitida de la probeta debe ser de al menos el 15 %. Para la inducción de la falla, las probetas fueron sometidas a una velocidad constante de 0.1 mm/min. Se utilizó un anillo de forma cuadrangular de aproximadamente 9.99 cm por lado, y una altura de 2.0 cm, generando un volumen de probeta de 199.41 cm³.

4. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presentan las propiedades geotécnicas del suelo natural y el suelo contaminado, mostrando valores promedio de las repeticiones de cada ensaye con junto con la desviación estándar para cada caso correspondiente.

Respecto a las relaciones volumétricas y gravimétricas se observa una disminución en la relación de vacíos, similar al comportamiento reportado por Izdebska-Mucha y Trzcinski [6]. Esto es indicativo de un mayor volumen de vacíos y presencia de líquidos cuando se conserva la masa de sólidos presente en las relaciones obtenidas del suelo natural. Por consecuencia de ello y la diferencia de densidades del agua y el contaminante, también se ven modificadas la porosidad, el peso específico y la densidad de sólidos. La porosidad disminuye en el suelo contaminado, por lo que habrá un menor flujo de líquidos. Los valores obtenidos de la densidad en el suelo contaminado se ven reducidos en el suelo contaminado, esto debido al fenómeno de oxidación por presencia del contaminante. De forma análoga, el peso específico del suelo también se ve disminuido, como consecuencia del cambio de densidades de los líquidos presentes en el material similar a lo observado por Rahman et al. [5] y Akinwuni [4].

Los límites de consistencia del suelo contaminado aumentan considerablemente, el límite líquido aumenta 6.73 %, mientras que el límite plástico lo hace un 1.53 %, modificando el índice plástico 5.20 % por arriba del índice del suelo natural. Estas alteraciones coinciden con los estudios realizados por Akinwuni [4] y State [7], pero se ven contrariados con los resultados reportados por Rahman et al., [5] y Oyegible y Ayinuola [8]. En este caso, las variaciones de los límites de consistencia no modifican la clasificación SUCS, manteniéndose el suelo como un limo de alta compresibilidad (MH), sin embargo en el suelo contaminado el punto a graficar queda próximo a la línea de transición con las arcillas de alta compresibilidad (CH). Esto también se ve reflejado en el cambio de porcentajes de finos y arenas del material, donde las arenas se ven disminuidas y los finos aumentados en el suelo contaminado, debido a la oxidación de las partículas por el efecto del contaminante.

La superficie específica del material no presenta una alteración significativa, debido a que en ambos casos el suelo continúa presentado una superficie específica dentro de los parámetros de una montmorillonita.

Coincidiendo con Martínez & López [10], el contenido de materia orgánica se ve aumentado en el suelo contaminado, esto debido a que el combustible es de origen orgánico entonces aumenta la materia orgánica presente en el suelo. Aunado a esto, el pH del suelo contaminado se ve disminuido en 0.96 puntos, provocando una acidificación del material y por ende una reducción en la disponibilidad de minerales presentes en el suelo, modificando de esta manera la composición química del material.

Los valores de la cohesión y el ángulo de fricción del suelo contaminado se ven alterados, presentando el primero una disminución del 83.89% y el segundo un aumento de 6 veces el valor en estado natural. Esto, sumando con el aumento de la rigidez del material debido a las modificaciones de los límites de consistencia y la modificación de las partículas del suelo, se un comportamiento granular del material y modifica la resistencia al esfuerzo cortante del suelo contaminado.

En la Figura 1 se puede observar los valores de resistencia al esfuerzo cortante para los valores de esfuerzo normal de 25 kPa, 49 kPa y 98 kPa en el suelo natural y 25 kPa, 39 kPa y 98 kPa en el suelo contaminado. Si viene con un esfuerzo normal de 25 kPa el material contaminado tiene una resistencia al esfuerzo cortante cercana a 1/3 de la resistencia del suelo natural bajo el mismo esfuerzo normal, para los 98 kPa de esfuerzo normal el suelo contaminado aumenta su resistencia a casi 3/4 de la resistencia que presenta el suelo natural, por lo que se puede apreciar que a medida que se aumenten los esfuerzos normales, se tendrá una mayor resistencia al esfuerzo cortante en el suelo contaminado y en un punto, este será incluso mayor a la resistencia al esfuerzo cortante observada en el suelo natural.

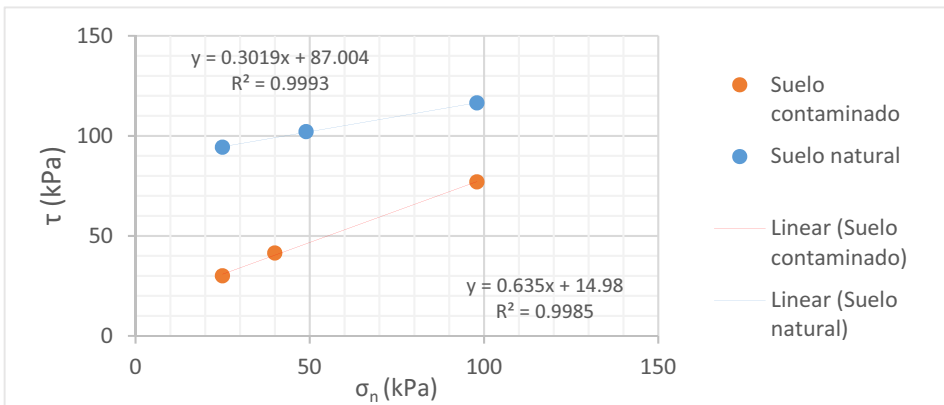


Figura 1. Resistencia al esfuerzo cortante vs. Esfuerzo normal.

5. Conclusión

La granulometría del suelo se ve modificada por la presencia del contaminante, así como el aumento de los límites de consistencia, viéndose reflejado en el cambio de clasificación SUCS del suelo contaminado lo que podría provocar una errónea caracterización del suelo. Las propiedades geotécnicas del suelo contaminado se ven

alteradas en el suelo contaminado, modificando la resistencia al esfuerzo cortante del suelo contaminado y un modificando el comportamiento plástico del material por un comportamiento cohesivo.

Debido a la procedencia orgánica del combustible, se verá aumentado el contenido de materia orgánica del suelo contaminado, y el suelo se acidificará por la disminución del pH debido a la reacción química y biológica sucedida en el suelo por la presencia del contaminante

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado mediante los proyectos CONACYT 266106 y CONACYT 270161. Asimismo, García Ramírez agradece la beca otorgada por el CONACYT para la realización de sus estudios de maestría.

Referencias

- [1] BOE. (2005). "Relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados", *Real Decreto 9/2005, BOE-A-5005-895*. España.
- [2] Ortíz Brito, Oscar; Ize, I. & Gavillán, A. (2003). "La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en México", *Gaceta Ecológica*, (69), 83-92.
- [3] Ijimdiya, T.S. (2013). "The effects of oil contamination on the consolidation properties of lateritic soil", *Development and Applications of Oceanic Engineering* 2(2): 53-59.
- [4] Akinwumi I. I., Diwa D & Abianigwe N. (2014). "Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay", *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3(4): 816-824.
- [5] Rahman, Z., Hamzah, U. & Taha, M. (2010). "Influence of oil contamination on geotechnical properties of basaltic residual soil", *American Journal of Applied Sciences*, 7(7): 954-961.
- [6] Izdebska-Mucha, D. & Trzcinski, J. (2008). "Effects of petroleum pollution on clay soil microstructure", *Geologija*, (50): 68-74.
- [7] State, O. (2014). "Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay", *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3(4): 816-824.
- [8] Oyegbile, O. B. & Ayininuola, G. M. (2013). "Laboratory studies on the influence of crude oil spillage on lateritic soil shear strength: A case study of Niger Delta area of Nigeria", *Journal of Earth Science and Geotechnical Engineering*, 3(2): 73-83.
- [9] Khosravi, E., Ghasemzadeh, H., Sabour, M. R. & Yazdani, H. (2013). "Geotechnical properties of gas oil-contaminated kaolinite", *Engineering Geology*, 166: 11-16.
- [10] Martínez, V. E. & López, F. (2001). "Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso", *Terra Latinoamericana*, (19), 9-17.
- [11] Cabello-Suárez L.Y., Pérez-Rea M.L., Galaviz-González R., Rojas E. & Hernández-Mendoza C.E. (2017). "Impact of diesel contamination on the compressibility of a clayey soil". 2017 XIII International Engineering Congress (CONIIN), Santiago de Querétaro, México, (13): 1-5.
- [12] Curiel-Iñiguez, N. P. & Hernández-Mendoza, C. E. (2018). "Efecto de la contaminación con gasolina en las propiedades geotécnicas de una arcilla expansiva", *Perspectivas de la Ciencia y la Ingeniería*, (1): 54-62.
- [13] Repsol Comercial de Productos Petrolíferos, S.A. (2003). "Ficha de datos de seguridad. Diésel e+", *Dir. 93/112/CE*. España.
- [14] ASTM. (2010) "D3080/D3080M-11 Standard Test Method for direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions", *American Society for Testing and Materials*.