

Efecto de la contaminación del aceite (usado) de motor en las características geotécnicas de las arcillas de la zona urbana del Municipio de Tarija-Bolivia y su impacto en la construcción

Effects of Engine (Used) Oil Contamination on the Geotechnical Characteristics of Clays in the Urban Area of he Municipality of Tarija-Bolivia and its Impact on Construction

Esteban Manuel Villena Martínez¹, Andrea Villarroel², Marcelo León³

Resumen

La contaminación de los suelos debido al derrame de aceite de motor (usado) proveniente de los talleres mecánicos es un proceso permanente y recurrente en varias zonas del área urbana del Municipio de Tarija-Bolivia. En este trabajo se presentan los resultados de la investigación experimental realizada con una serie de ensayos geotécnicos a muestras de arcillas contaminadas artificialmente con aceite de motor (usado) en proporciones de 5%, 10% y 15% en peso del suelo seco y se evalúa el efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Los resultados muestran una clara variación de las características geotécnicas y mecánicas, siendo muchas de estas adversas en los parámetros de la capacidad portante del suelo, lo que genera incertidumbre en el comportamiento estructural de las cimentaciones que descansan sobre él.

Palabras clave: aceite (usado) de motor, arcillas, propiedades geotécnicas, suelos contaminados, comportamiento estructural.

Abstract

Soil contamination due to the spillage of (used) motor oil from mechanical workshops is a permanent and recurrent process in several areas of the urban area of the Municipality of Tarija-Bolivia. This work presents the results of experimental research carried out with a series of geotechnical tests on samples of clays artificially contaminated with motor oil (used) in proportions of 5%, 10% and 15% in weight of dry soil, and evaluates the effect on the physical and mechanical properties of the soil. The results show a clear variation of the geotechnical and mechanical characteristics, being many of these adverse in the parameters of the bearing capacity of the soil, which generates uncertainty in the structural behavior of the foundations that rest on it.

Keywords: (used) engine oil, clays, geotechnical properties, contaminated soils, structural behavior.

1. INTRODUCCIÓN

Cyrus *et al.* (2010) señala que la comprensión y predicción de las propiedades de ingeniería de los suelos arcillosos es de vital importancia en la práctica de ingeniería geotécnica y que el estudio sobre el comportamiento fundamental de los mismos es su aplicación a los aspectos geotécnicos ambientales de la interacción de los contaminantes del suelo. Asimismo, Cyrus *et al.* (2010) indica que la contaminación es un problema que debe considerarse durante todas las operaciones de construcción, tanto para

evitar nuevas contaminaciones como para controlar o limpiar la contaminación existente.

El medio ambiente está siendo contaminado por los seres humanos, involuntaria o intencionalmente. Al hacerlo, no solo el aire y el agua, sino también la tierra se está contaminando, siendo dañino no solo para los acuíferos subterráneos, sino que tales acciones perjudican a los edificios y estructuras que están en pie sobre ella. Cualquier cambio en las propiedades de ingeniería y el comportamiento de los estratos del suelo puede conducir a una pérdida de la capacidad de carga y un aumento total o diferencial en los asentamientos de los sistemas de cimentación de las estructuras. En consecuencia, las estructuras pueden sufrir fallas funcionales o estructurales (Ahmed, *et al.* 2007).

El efecto de agentes contaminantes sobre el comportamiento geotécnico de los suelos finos ha sido el tema de investigación durante muchos años, varios investigadores señalan que las propiedades mecánicas de los suelos bajo este efecto contaminante tienen importantes variaciones que repercuten de forma directa con el sistema de fundaciones que descansan sobre los mismos, (Al-Adili *et*

* Autor de contacto: estebanvillena@ucbtja.edu.bo

¹ Docente Investigador del Departamento de Ingenierías, Universidad Católica Boliviana "San Pablo" Regional Tarija-Bolivia.

² Asistente de Investigación del Departamento de Ingenierías, Universidad Católica Boliviana "San Pablo" Regional Tarija-Bolivia.

³ Asistente de Investigación del Departamento de Ingenierías, Universidad Católica Boliviana "San Pablo" Regional Tarija-Bolivia.

al. 2017), (Mahdi y Zaineb, 2017), (Elisha, 2012), (Nazir, 2011), (Ahmed *et al.* 2007), (Keramatikerman *et al.* 2017), (Oluremi *et al.* 2017), (Elahe *et al.* 2013), (Khodary *et al.* 2018) y (John *et al.* 2009).

Durante la última década el crecimiento del parque automotor (Instituto Nacional de Estadística, 2014) en la zona urbana del Municipio de Tarija-Bolivia, originó el aumento de talleres mecánicos que vierten de manera directa el aceite de motor (usado) al suelo, esto, más allá de convertirse en un problema medioambiental, genera un problema geotécnico en los suelos donde se ubican estos talleres, según Rahman *et al.*, 2010 la contaminación del aceite debido a derrames o fugas accidentales provoca daños considerables en el entorno, que no solo afecta la calidad del suelo sino también las propiedades físicas del mismo, que da lugar a efectos adversos a las propiedades geotécnicas de los suelos relacionados con la construcción o la estructura de cimentación en el sitio contaminado. Por otro lado, Fine *et al.*, 1997 indica que el grado de contaminación depende de la composición química del contaminante y las propiedades del suelo.

El estudio experimental realizado por (Meegoda y Ratnaweera, 2014) para investigar los factores que controlan el índice de compresibilidad de suelos contaminados, señala que la compresibilidad de un suelo depende de factores mecánicos y fisicoquímicos y, que las adiciones de sustancias químicas a un suelo cambian las propiedades del fluido de poro, tal es el caso de la viscosidad que influye en la compresibilidad de los suelos contaminados.

Elisha (2012), en su trabajo sobre el efecto de la contaminación del petróleo crudo en las propiedades geotécnicas de los suelos de arcilla blanda de la región del Delta del Níger en Nigeria, determina que la contaminación causa un aumento en los límites de consistencia, mientras que la porosidad y la presión de hinchamiento disminuyen con el aumento del tiempo de absorción y contenido de contaminante, para el caso de la resistencia la corte este parámetro fluctúa.

Nazir (2011), en su investigación sobre el efecto del aceite de motor en las propiedades geotécnicas de arcillas sobreconsolidadas, nos muestra que la resistencia a la compresión no confinada reduce respecto a una muestra no consolidada, los límites de Atterberg reducen en los primeros meses de contaminación, permaneciendo constante luego de los 24 meses de realizada la experimentación, el efecto de sobreconsolidación muestra un efecto menor ante la contaminación y los índices de compresión e hinchazón declaran una correlación positiva con la duración de la contaminación hasta 6 meses.

El trabajo realizado por Mahdi y Zaineb, 2017 sobre el efecto del aceite combustible en las propiedades geotécnicas de suelos arcillosos tipo CL obtenidos de la planta de energía eléctrica en el campus de la Universidad de Bagdad en Al-Jadriah en Bagdad/Iraq, destaca que el contaminante tiene un impacto significativo en algunas propiedades del suelo y efectos leves en los otros. Al aumentar el porcentaje de contaminante causa una ligera disminución en el límite del líquido y la distribución del tamaño de partícula; por otro lado, causa un aumento considerable en los parámetros de consolidación y una disminución en los parámetros de

resistencia al corte. Además, hay un ligero cambio en la composición química de las muestras de suelo.

Según (Khamehchiyan *et al.* 2007), el efecto de contaminantes en suelos arcillosos y arenosos por aceite induce una reducción en la permeabilidad, sin embargo, el efecto de la contaminación del aceite sobre los parámetros de resistencia al corte no es uniforme y depende del tipo de suelo, pero conduce a la disminución de la fuerza pico de corte en todas las muestras estudiadas.

El aceite de motor lubricante es un material altamente contaminante que requiere un manejo responsable. Puede causar daños al medio ambiente cuando se tira al suelo o a corrientes de agua, incluidas las alcantarillas. Esto puede ocasionar la contaminación del agua subterránea y del suelo (Izza *et al.* 2018).

La contaminación de los suelos producto del derrame de aceite (usado) que es generado por los talleres mecánicos que operan en diferentes zonas urbanas del Municipio de Tarija-Bolivia se ha convertido en un problema recurrente que no solo afecta al medio ambiente sino también a las propiedades físicas y mecánicas de los suelos. Este trabajo tiene por objeto estudiar y presentar el resultado de una investigación experimental realizada a una serie de ensayos geotécnicos a muestras de arcilla contaminadas artificialmente con aceite de motor (usado) y analizar el efecto en sus propiedades geotécnicas, como la densidad relativa, límites de Atterberg, humedad óptima, máxima densidad seca, índice de compresibilidad y el ángulo de fricción interna y la repercusión en la estabilidad estructural del sistema de cimentaciones que descansan en este tipo de suelos.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO

2.1. Muestras de estudio

La zona de obtención de la muestra de estudio se localiza en el distrito 7, barrio los Chapacos del área urbana del Municipio de Tarija-Bolivia, la muestra ha sido extraída, almacenada y protegida adecuadamente para evitar pérdida de su contenido natural de humedad. El aceite de motor utilizado como contaminante ha sido recolectado de la misma zona de extracción de las arcillas y directamente de los talleres mecánicos que operan en el lugar, la tabla 1 detalla las características del aceite utilizado como contaminante.

Tabla 1. Características del aceite de motor (sucio)

Color	Densidad (Kn/m ³)	Viscosidad Absoluta (Poise)
Café oscuro	8,43	3,5

2.2. Preparación de las muestras y programa experimental

Para determinar el efecto del aceite de motor en las propiedades geotécnicas del suelo, se aplicó una metodología que consiste en obtener inicialmente las propiedades geotécnicas de la muestra sin contaminar (**muestra patrón**) para establecer parámetros de comparación, el resto del material tuvo un proceso de contaminación artificial con el aceite de motor (usado) en proporciones de 5%, 10% y 15% en peso del suelo seco.

El proceso de preparación de las muestras experimentales contaminadas ha seguido la siguiente metodología:

- La muestra de suelo se dividió en 4 porciones con similares pesos, una para la determinación de los parámetros de comparación la muestra patrón y las otras 3 para someterlas a contaminación con el aceite.
- Las muestras se contaminaron artificialmente incorporando un determinado volumen de aceite en proporciones del 5%, 10% y 15% respecto al peso del suelo analizado, obteniendo tres grupos de suelos contaminados cada uno con distintos contenidos de aceite.
- Para la mezcla y homogenización del aceite y suelo se utilizaron batidoras eléctricas.
- Las muestras contaminadas han tenido un tiempo de reposo antes de iniciar con los diferentes ensayos geotécnicos, con el objeto de tener una mejor adherencia del aceite al suelo.

El trabajo experimental realizado a las muestras sin contaminar (patrón) como a las muestras contaminadas incluye las siguientes pruebas estándares de laboratorio de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y los procedimientos descritos por (Bowles, 1992):

- Extracción de la muestra, ASTM D420
- Preparación de las muestras ASTM D421
- Contenido de humedad natural para la muestra sin contaminar (patrón), ASTM D2216
- Gravedad específica, ASTM D854
- Análisis Granulométrico de la muestra por hidrómetro, ASTM D422
- Límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), ASTM D 4318
- Clasificación de la muestra, ASTM D2487

- Obtención del índice de compresibilidad, ASTM D2435
- Análisis y evaluación de la humedad óptima y la máxima densidad seca de las muestras, ASTM D698
- Análisis de ángulo de fricción interna, ASTM D3080

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso experimental del trabajo destaca los siguientes resultados:

3.1. Clasificación de la muestra

La muestra de arcilla estudiada es clasificada como **Arcillas de baja plasticidad "CL"**.

3.2. Gravedad específica

La gravedad específica de la muestra sin contaminar y el efecto que tiene luego de un proceso gradual de contaminación se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Variación de la gravedad específica del suelo respecto a los diferentes grados de contaminación

Contenido de aceite (%)	Gravedad específica
0 (muestra patrón)	2,58
5	2,53
10	2,49
15	2,29

Se evidencia que la gravedad específica del suelo disminuye con cada incremento de aceite contaminante respecto a la muestra patrón, siendo el 1.94% de disminución con 5% de contaminante y llegando a un 11.24% de disminución con 15% de contaminación del suelo, véase la figura 1.

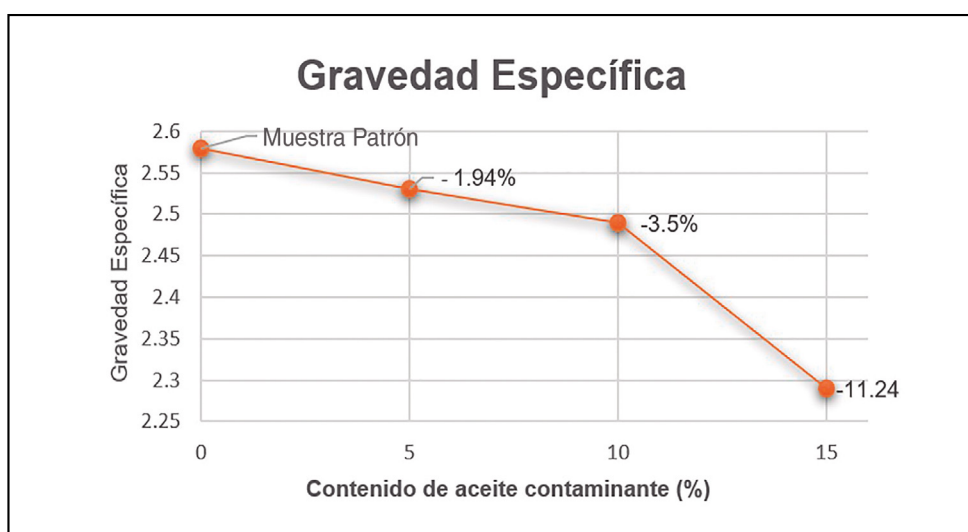


Figura 1. Variación de la gravedad específica.

3.3. Límites de consistencia (Atterberg)

En la tabla 3 se detallan los resultados obtenidos con el ensayo de Casagrande para la determinación del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) para los diferentes grados de contaminación.

Tabla 3. Variación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo respecto a los diferentes grados de contaminación

Contenido de aceite (%)	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)
0 (muestra patrón)	33,1	22,86	10,25
5	36,85	23,36	19,49
10	39,24	25,55	13,69
15	36	27	9

El límite líquido aumenta para cada incremento de contaminante respecto a la muestra patrón, sin embargo se observa una leve disminución para el 15% de contaminación; el límite plástico tiene un aumento sostenido para cada incremento de contaminante respecto al suelo sin contaminar del 2.19% para el 5% de contaminación al 18.11% para 15% de contaminante, el índice de plasticidad aumenta para los dos primeros escalones de contaminación, sin embargo, para el 15% de contaminación el IP disminuye en un 12.20%, véase la figura 2.

Los límites de consistencia se incrementan debido a que el aceite actúa como un ligante, lo que origina una mayor cantidad de agua para lograr cambiar la consistencia del suelo.

3.4. Índice de compresibilidad (Cc)

El índice de compresibilidad ha sido obtenido mediante el ensayo de consolidación unidimensional de los suelos aplicando 5 escalones de carga, 0.0098, 0.0196, 0.0392, 0.0785, 0.1569 y 0.3138 kN, véase la tabla 4 que detalla los resultados y las variaciones del índice de compresibilidad de la muestra con los diferentes grados de contaminación.

Tabla 4. Variación del índice de compresibilidad "Cc" del suelo respecto a los diferentes grados de contaminación

Contenido de aceite (%)	Índice de Compresibilidad "Cc"
0 (muestra patrón)	0,12
5	0,13
10	0,15
15	0,15

El índice de compresibilidad de la muestra aumenta en un 8.3% para 5% de contaminación, manteniéndose constante en un 25% para el resto de los grados de contaminación, véase la figura 3.

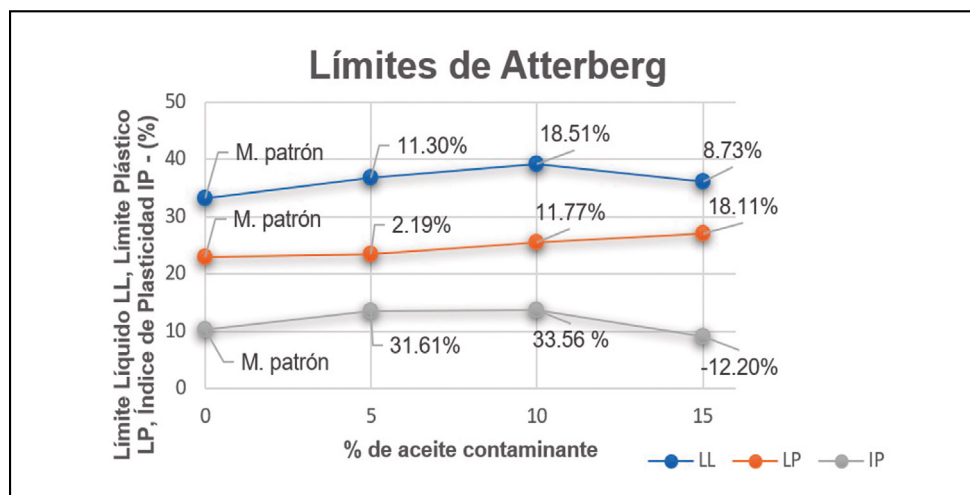


Figura 2. Variación de los límites de Atterberg.

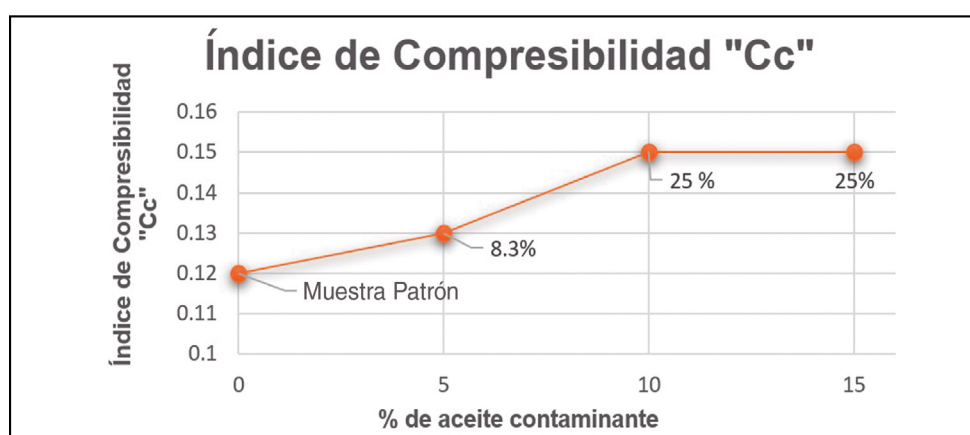


Figura 3. Variación de índice de compresibilidad "Cc".

3.5. Máxima densidad seca y humedad óptima

La humedad óptima y la máxima densidad seca ha sido determinada mediante la prueba de compactación Proctor Estándar T-99, ASTM 698, véase las tablas 5 y 6 que detallan los resultados de la humedad óptima y el efecto del aceite en la máxima densidad seca.

Tabla 5. Variación de la humedad óptima del suelo respecto a los diferentes grados de contaminación

Contenido de aceite (%)	Humedad óptima (%)
0 (muestra patrón)	13,81
5	9,27
10	7,00
15	4,61

El efecto de la contaminación del suelo en el proceso de compactación genera una fuerte disminución de la humedad óptima del suelo, disminuyendo en un 32.87% para 5%

de contaminación, 49.31% para 10% y 66.62% para 15% de aceite contaminante, véase la figura 4.

Tabla 6. Variación de la máxima densidad seca del suelo respecto a los diferentes grados de contaminación

Contenido de aceite (%)	Máxima densidad seca "γd" (kN/m ³)
0 (muestra patrón)	17,06
5	16,79
10	17,26
15	18,03

La densidad seca baja un 1.55% para 5% de contaminación respecto al suelo no contaminado, para 10% y 15% sube en 1.15% y 5.7% respectivamente, véase la figura 5 que muestra esta fluctuación.

Se observa que la máxima densidad seca tiene un crecimiento a medida que aumenta el agente contaminante con menos contenido de humedad (óptima), esto se debe

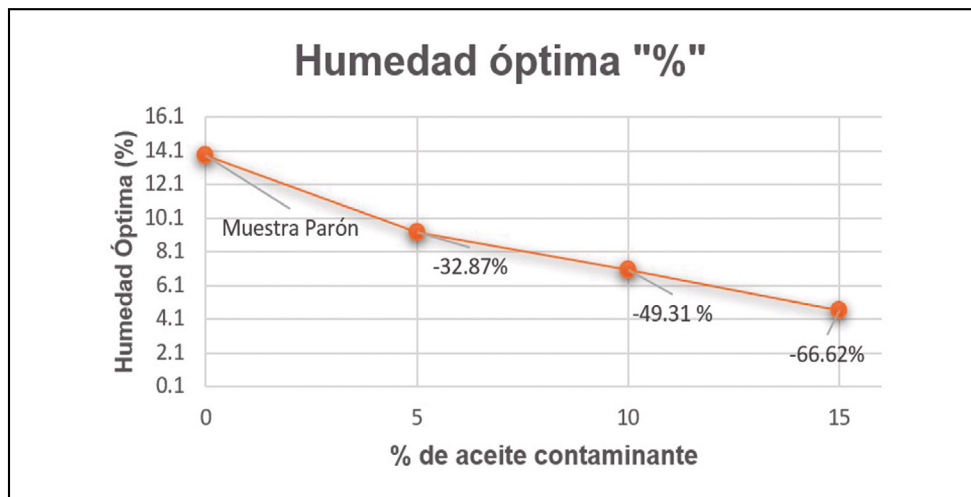


Figura 4. Variación de la humedad óptima.

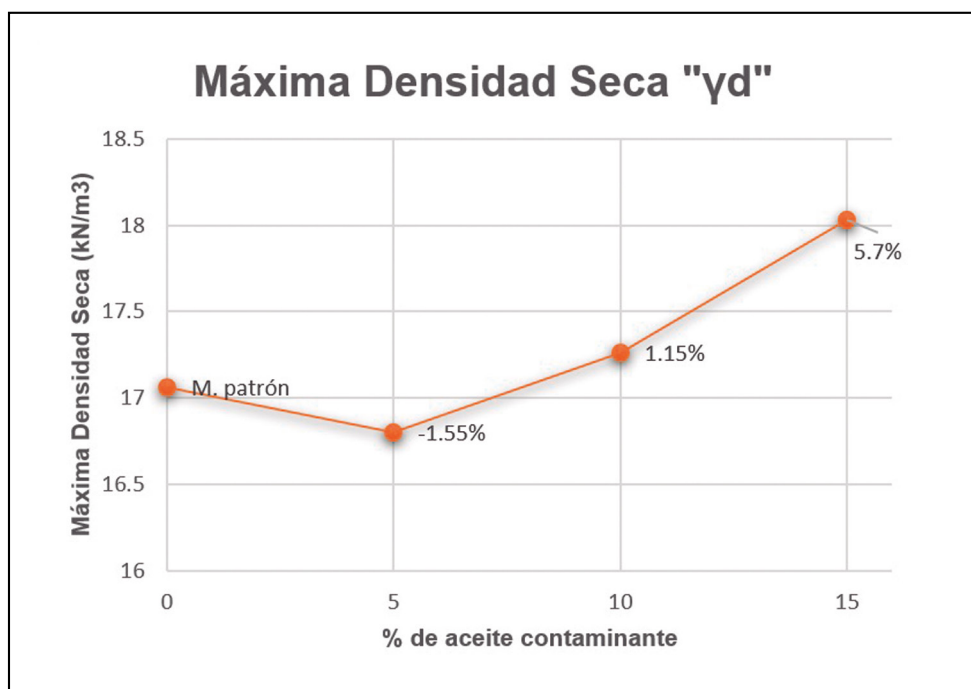


Figura 5. Variación de la máxima densidad seca.

a que el aceite actúa entre las partículas como un agente ligante.

3.6. Ángulo de fricción interna

La fricción interna de un suelo es uno de los parámetros fundamental para poder determinar la capacidad portante del mismo, el ángulo de fricción interna de las muestras ha sido determinado con el ensayo de corte directo ASTM D 3080, véase la tabla 7 que muestra los resultados obtenidos del estudio.

Tabla 7. Variación del ángulo de fricción interna del suelo respecto a los diferentes grados de contaminación

Contenido de aceite (%)	Ángulo de Fricción Interna (°)
0 (muestra patrón)	25,5
5	8,01
10	8,5
15	9,1

El efecto de la contaminación en los suelos arcillosos genera un resultado adverso para la resistencia del suelo, la figura 6 muestra como el ángulo de fricción interna tiene una drástica disminución respecto al suelo sin contaminar llegando a reducir hasta un 71%.

Si comparamos con la muestra patrón, se observa que el aceite influye en la fricción de suelo, generando una caída en el ángulo de fricción interna, debido a la interacción química que se genera entre las partículas y a las propiedades del aceite, disminuyendo la resistencia a la fricción entre las partículas.

4. CONCLUSIONES

De los ensayos y pruebas realizadas en el presente trabajo, se extraen las siguientes conclusiones:

- Las propiedades fisicoquímicas del aceite como la viscosidad y densidad han generado una alteración en las propiedades del fluido del poro influyendo en la compresibilidad y densidad del suelo.
- La gravedad específica de las muestras contaminadas disminuye hasta un 11.24% respecto al suelo sin contaminar.
- Se observa un incremento del límite líquido y límite plástico de las muestras contaminadas, sin embargo, para el índice de plasticidad se produce una disminución cuando el suelo tiene un 15% de contaminante.
- El aumento del aceite de motor como agente contaminante del suelo provoca un incremento en el índice de compresibilidad hasta un 25%.
- Las pruebas de compactación muestran que la humedad óptima del suelo disminuye en relación con el incremento del aceite de motor en el suelo y se observa un aumento de la máxima densidad seca del mismo.
- El ángulo de fricción interna de las arcillas contaminadas tiene una reacción adversa, estos disminuyen drásticamente al aumentar el contenido del contaminante.

- En general, el aceite de motor (sucio) como agente contaminante en la estructura del suelo influye en las propiedades geotécnicas de la arcilla estudiada, la disminución del ángulo de fricción interna induce a una reducción de la resistencia al corte del suelo.
- La influencia del aceite en el suelo no solo tiene una repercusión teórica de las propiedades geotécnicas del suelo, sino que estas influyen directamente en el comportamiento del sistema de cimentaciones que descansa en él, generando problemas y fallas funcionales e inclusive estructurales, lo que permite concluir la necesidad de que los ingenieros que proyecten obras de infraestructuras sobre terrenos susceptibles a la contaminación deben tomar en cuenta estos factores para el dimensionamiento de las fundaciones que repercutirán negativamente en el comportamiento estructural.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Universidad Católica Boliviana “San Pablo” Regional Tarija, por el apoyo en la realización del trabajo.

6. REFERENCIAS

- Ahmed, H., Abduljawwad, S., y Akram, T. (2007). Geotechnical behavior of oil-contaminated fine-grained soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, (12): pp. 1-12.
- Al-Adili, A., Alsoudany, K., y Shakir, A. (2017). Investigation of crude oil effect on stiffness characteristics of sandy and gypsum oil. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54(4): pp. 276-282. Doi: 10.1007/s11204-017-9469-x
- Bowles, J. (1992). *Engineering properties of soils and their measurement*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Cyrus, S., Kumar, T., Abraham, B., Sridharan, A., y Jose, B. (2010). Effect of Industrial Wastes on the Physical and Engineering Properties of Soils. *Indian Geotechnical Conference-2010, GEOTrendz* (pp. 357-360). India: IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay.
- Elisha, A. (2012). Effect of crude oil contamination on the geotechnical properties of soft clay soils of Niger delta region of Nigeria. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17: pp. 1929-1938.
- Fine, P., Graber, E., y Yaron, B. (1997). Soil interactions with petroleum hydrocarbons: Abiotic processes. *Soil Technology*, 10(2): pp. 133-153.
- Instituto Nacional de Estadística (2014). *Estadísticas del Parque Automotor*. La Paz: INE.
- Izza, H., Abdessalam, S., Bouida, M., y Haddad, A. (2018). Recycling of used motor oil as an alternative method for production feedstock for the conversion processes [Abstract]. *Petroleum Science and Technology*, 36(19): pp. 1511-1515.
- Keramatikerman, M., Amin, C., y Pu, H. (2017). Effect of Atrazine Contamination on Compressibility and Permeability Characteristics of Clay. *Geotechnical Testing Journal-ASTM*, 40(6): pp. 936-950.
- Khamehchiyan, M., Hossein Charkhabi, A., y Tajik, M. (2007). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 89: pp. 220-229.

Khodary, S.M., Negm, A.M., y Tawfik, A. (2018). Geotechnical properties of the soils contaminated with oils, landfill leachate, and fertilizers (paper review). *Arabian Journal of Geosciences*, 11(2): pp. 1-17.

Khosravi, E., Ghasemzadeh, H., Reza, M., y Yazdani, H. (2013). Geotechnical properties of gas oil-contaminated kaolinite. *Engineering Geology*, 166: pp. 11-16.

Mahdi Obaid, K., y Zaineb Abdul, K. (2017). Effects of Fuel Oil on the Geotechnical Properties of Clay Soil. *Engineering Journal*, 23(8): pp. 1-12.

Meegoda, N., y Ratnaweera, P. (1994). Compressibility of contaminated fine-grained soils. *Geotechnical Testing Journal*, 17(1): pp. 101-112.

Nazir, A.K. (2011). Effect of motor oil contamination on geotechnical properties of over consolidated clay. *Alexandria Engineering Journal*, 50(4): pp. 331-335.

Oluremi, J.R., Yohanna, P., y Akinola, S. (2017). Effects of compactive efforts on geotechnical properties of spent engine oil contaminated laterite soil. *Journal of Engineering Science and Technology*, 12(3): pp. 596-607.

Rahman, Z., Hamzah, U., Taha, U., Ithnain, N.S., y Ahmad, N. (2010). Influence of oil contamination on geotechnical properties of basaltic residual soil. *American Journal of Applied Sciences*, 7(7): pp. 941-948.

Singh, S.K., Srivastava, R.K., y John, S. (2009). Studies on soil contamination due to used motor oil and its remediation [Abstract]. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(9): pp. 1077-1083.