

Efecto del aceite residual de vehículos motorizados en los factores físico mecánicos del suelo fino

Samuel Huaquisto Cáceres¹

¹ Dr. en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, correspondencia: hc_samuel@hotmail.com

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 15/mayo/2015
Art. Aceptado 14/agosto/2015
online: 14/setiembre/2015

PALABRAS CLAVE:

- * aceite residual
- * cohesión-fricción
- * densidad
- * plasticidad
- * suelo

ARTICLE INFO

Article Received 15/may/2015
Article Accepted 14/august/2015
online:14/setember/2015

KEY WORDS

- * oil-residual
- * cohesion
- * friction
- * density
- * plasticity
- * soil

RESUMEN

El hidrocarburo residual impacta en suelos donde se ubican talleres de mantenimiento de vehículos y plantas de procesamiento de áridos, siendo útil aplicarlo a la estabilización de suelos para obras de ingeniería. El objetivo del estudio es determinar el efecto que ocasiona el aceite residual de vehículos motorizados en los factores físico mecánicos del suelo fino. Para tal fin se procedió al mezclado de muestras de suelo con aceite residual, en las proporciones de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso seco. Los resultados indican una disminución, desde el 0% al 10% de aceite, de los índices de plasticidad de 15.89% a 3.64%, de la densidad seca máxima de 1.96 g/cm³ a 1.77 g/cm³, del contenido de humedad óptimo de 10.6% a 5.8% y de la permeabilidad de 1.18*10⁻³ cm/s a 9.86*10⁻⁵ cm/s. La resistencia a compresión simple aumenta hasta 7.61 kg/cm² en un rango del 2% al 4%, más allá del 4% tiende a disminuir; también se observa una disminución de la cohesión de 0.34 kg/cm² a 0.16 kg/cm²; pero en el rango de 2% a 4% aumenta a 0.44 kg/cm², el ángulo de fricción interna aumenta inicialmente de 9.52° al 0% a 13.12° al 4% de aceite residual luego de esto se observa un decremento no existiendo correlación. Por consiguiente, existe una correlación inversa entre el contenido de aceite residual y los factores físico mecánicos del suelo fino, exceptuando al ángulo de fricción interna, considerándose adecuado su utilización del 2% al 4% para estabilización de suelos finos.

Effect of the residual oil of motorized vehicles in the mechanics physique factors of fine soil

ABSTRACT

The residual hydrocarbon impacts on soils where vehicle maintenance workshops and aggregate processing plants are located, making it useful to apply to the stabilization of soils for engineering. The aim of the study is to determine the effect caused by the residual oil of motor vehicle in mechanics physical factors of fine soil. To this end proceeded to soil sample mixed with residual oil, in proportions of 0%, 2%, 4%, 6%, 8% and 10% dry weight. The results indicate a decrease, from 0% to 10% oil, plasticity indices of 15.89% to 3.64% of the maximum dry density of 1.96g/cm³ to 1.77g/cm³, the optimum moisture content of 10.6% to 5.8% and the permeability of 1.18*10⁻³ cm/s to 9.86*10⁻⁵ cm/s. The unconfined compressive strength increased to 7.61 kg/cm² in a range of 2% to 4%, more than 4% tends to decrease; a decrease in the cohesion of 0.34 kg/cm² to 0.16 kg/cm² is also observed; but in the range of 2% to 4% increased to 0.44kg/cm², the internal friction angle of 9.52° to 0% initially increases to 13.12° to 4% of residual oil after this value decreased and there is no correlation observed. Therefore, there is an inverse correlation between the residual oil content and mechanical physical factors of fine soil, except for the angle of internal friction, considering proper use of 2% to 4% for fine soil stabilization.

INTRODUCCIÓN

Actualmente debido al aumento del parque automotor en las ciudades, se incrementa el hidrocarburo residual que estos generan, impactando negativamente en suelos donde se ubican talleres de mantenimiento de vehículos y plantas de procesamiento de áridos, pero es útil aplicarlo a la estabilización de suelos para obras de ingeniería, por tanto en el estudio se analiza el efecto del aceite residual en las propiedades físicas mecánicas de la arcilla. Las propiedades físicas mecánicas a analizar tenemos el límite líquido, límite plástico, contenido de humedad, densidad seca máxima, permeabilidad, resistencia a compresión simple y la resistencia al esfuerzo de corte.

Antecedentes.

Muchas investigaciones han sido realizadas para analizar el efecto del hidrocarburo en las propiedades geotécnicas de los suelos. En el estudio influencia de la contaminación por aceite en las propiedades geotécnicas del suelo residual basáltico (Rahman, Hamzah, Taha, Ithnain, & Ahmad, 2010), realizado en Malasia, sustenta que el aceite influye en las propiedades geotécnicas de los suelos, en los límites de Atterberg, compactación, permeabilidad y pruebas triaxiales no consolidados no drenados. Este estudio analiza dos tipos de suelo V (granular) y VI (fino) para compararlos. Los resultados mostraron que la adición de aceite tiene efectos adversos a las propiedades geotécnicas de los suelos V y VI.

La investigación, efecto de la contaminación del aceite de motor en las propiedades geotécnicas de la arcilla sobreconsolidada (Nazir, 2012), realizada en Egipto presenta un análisis del efecto de este insumo en las propiedades geotécnicas de la arcilla respecto al tiempo; dichas propiedades analizadas son el límite líquido y límite plástico, coeficiente de permeabilidad, compresión inconfiada y consolidación. Se indica que el efecto significativo de la contaminación con aceite es inducido con la duración de la contaminación por cerca de 6 meses; mas allá de los 6 meses hay un efecto menor. Se encontró un incremento en el coeficiente de permeabilidad y los índices de compresión y expansión, en las demás propiedades como el LL, LP que existe decremento.

El estudio, efecto de la contaminación del crudo de petróleo en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos y arenosos (Khamehchiyan, Hossein Charkhabi, & Tajik, 2007), realizado en Irán, analiza dicho efecto en las propiedades: límites de Atterberg, compactación, corte directo (cohesión y fricción), compresión uniaxial y permeabilidad. La compactabilidad de todas las muestras de suelo aumenta con el contenido de petróleo; pero hay una disminución de los límites de Atterberg, densidad seca, contenido óptimo de agua, permeabilidad y esfuerzo a compresión simple. Realizada la prueba de corte directo se muestra que hay un decremento pico del esfuerzo cortante de todas las muestras, con una reducción de la cohesión; pero en suelos arcillosos la correlación del ángulo de fricción interna es directa.

La parte aplicativa del estudio es la estabilización de suelos contaminadas con hidrocarburo de petróleo. En el estudio utilización de las arenas contaminadas con petróleo en concreto asfáltico para caminos secundarios (Al-Mutairi & Eid, 1997) en Kuwait, se encuentra que la arena contaminada con petróleo fue utilizada para mezclas de concreto asfáltico como suministro a ser abastecido en la producción de materiales de construcción asfáltica. Las mezclas fueron de concreto asfáltico de

una calidad que puede ser usado por caminos secundarios, bases y sub bases de caminos, capas impermeables para vertederos y muros de contención, o estabilización de terraplenes.

Para la capacidad de soporte del suelo, en un estudio realizado sobre uso de aceite quemado para mejorar bases y subbases granulares se pudo concluir la viabilidad del empleo de aceite quemado para mejorar la resistencia mecánica y densidad máxima de algunas bases y subbases granulares. Los mayores incrementos de densidad máxima para el ensayo de proctor estándar y proctor modificado se encuentran en las combinaciones de 75% de agua y 25% de aceite y 50% de agua y 50% de aceite respectivamente (Reyes Ortiz, 1997).

En un estudio de caso, estabilización de suelos contaminados con petróleo, se indica que la contaminación con petróleo trae efectos adversos en las propiedades geotécnicas básicas del suelo de fundación. Para estabilizar estos suelos contaminados se ha usado varios aditivos, cal, ceniza volante y cemento, los cuales mejoran las propiedades geotécnicas del suelo, el mejor resultado fue la combinación de 10% de cal, 5% de ceniza volante y 5% de cemento adicionado al suelo contaminado. (Shah, Shroff, Patel, Tiwari, & Ramakrishnan, 2003).

Contaminación del ambiente.

El efecto del hidrocarburo sobre el medio ambiente es un tema de discusión, por cualquiera de las siguientes razones (Shigenaka, 2011): (1) el «aceite» es una mezcla compleja de productos químicos que tienen diferentes efectos tóxicos y mecanismos de acción, (2) el aceite derramado constantemente en el medio ambiente cambia debido a procesos físicos y de meteorización biológica, lo que significa que su tóxico efecto también cambia con el tiempo, (3) organismos diferentes, incluso del mismo organismo, reaccionan de manera diferente a la exposición tóxica, (4) los sub letales efectos del aceite a la exposición puede resultar en impactos poblacionales o comunitarios años después de la exposición inicial. Por tanto la contaminación, desde un punto de vista medioambiental, es la alteración de las características físicas, químicas o biológicas de los factores medioambientales en grado tal que supongan un riesgo inaceptable para la salud humana o los ecosistemas (Mena Nieves, 2009).

Contaminación del suelo.

El suelo es «la fina capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesta por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. El suelo constituye la parte de la superficie terrestre sobre la que se asienta la vida vegetal y sobre la cual se implanta la mayor parte de las actividades humanas, siendo, además, la interfaz entre la tierra, el aire y el agua lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso» (Sabroso Gonzales & Pastor Eixarch, 2004). El suelo está compuesto de una matriz integrada por cinco componentes principales: (Torres Delgado & Zuluaga Montoya, 2009).

- Minerales. Constituyen los principales componentes estructurales de los suelos y suponen más del 50% del volumen total.
- Aire-agua. Constituyen el volumen de poros, por lo general ocupa entre el 25 y 50% del volumen total.
- Organismos vivos. Ocupan menos del 1% del volumen.

- Materia orgánica. Oscilan entre el 3 y 6% del volumen, con valor medio.

En aceite residual o hidrocarburo.

Los aceites usados son una mezcla de hidrocarburos procedentes del petróleo con restos de los aditivos que se les añadieron para realizar la función de lubricación, así como agua, disolventes y otros contaminantes adquiridos durante su utilización (Arner, Barberán, & Mur, 2006). El aceite es residual o usado «cuando ha sobrepasado los límites máximos de contaminación y dicho lubricante debe ser removido o cambiado cuanto antes, puesto que sus propiedades físicas, químicas han sido alteradas y no le permiten realizar su labor a cabalidad, notándose en un incremento en el desgaste del motor» (Néder Muñoz & R. Marín, 2003).

Indicadores de suelos contaminados.

Algunos indicadores para evaluar suelos contaminados pueden ser: la biomasa-C, la respiración, la toxicidad de las lombrices de tierra y germinación de la semilla de mostaza (Dawson et al., 2007). Una mejor evaluación se lograría si se incluyesen otros indicadores potenciales de índole ecológico-biológico; por ejemplos, el grado de diversidad genética, el rendimiento de los cultivos, el vigor de las plantas y su desarrollo radical, y la calidad del agua que drena superficialmente, así como la que se pierde por lixiviación subterránea. En cuanto a la velocidad de dichos cambios, existen procesos casi irreversibles, como son la composición mineral, la distribución de partículas de diferentes tamaños, la formación de los suelos, el desarrollo del perfil, la erosión hídrica o eólica, etc. (Calderón, Moreno, & Barra, 2002). También se tienen medidores de indicadores de contaminación como los isópodos y lombrices de tierra que son capaces de percibir la presencia de compuestos tóxicos y escapan de la contaminación (Loureiro, Soares, & Nogueira, 2005).

Factores físico mecánicos del suelo.

El análisis de un problema de contaminación de suelo depende de la información ganada en campo y en laboratorio con el propósito de remediar y tomar acciones correctivas (Loxham, 1997). Las principales propiedades ingenieriles pueden ser tratadas bajo los principales grupos: (a) aquellos que tratan con procesos de transporte de contaminantes, permeabilidad, porosidad, densidad, estructura del suelo y grado de saturación; y (b) aquellos que tratan con el esfuerzo y compactación de suelos, es decir, propiedades físicas mecánicas pertinentes a la estabilidad de suelos y propiedades involucradas en la remediación de sitios contaminados (Yong, 2001). Los resultados se aplican en la **estabilización de suelos**, definido como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.

a) Factores físicos del suelo.

Tenemos: **Peso específico aparente**: «Es la relación entre el peso de la muestra (sólidos más el agua que contenga) y su volumen aparente, suele variar entre 15 y 21 kN/m³» (Gonzales de Vallejo, 2002). **Absorción**: «Se refiere a la determinación de la absorción del material en 24 horas» (Crespo Villalaz, 2011). **Porosidad**: «Es la relación entre

el volumen de huecos y el volumen total del elemento considerado» (Gonzales de Vallejo, 2002). **Grado de saturación**: «Es la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos de un suelo (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2001). **Contenido de humedad**: «Es la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida» (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2001). **Compacidad relativa**: «indica el grado de compacidad de un suelo granular en su estado natural, determinado mediante la relación del máximo incremento posible de su relación de vacíos a la amplitud total de vacíos de dicha relación» (Crespo Villalaz, 2011). **Relación de aire - vacíos**: «Es la relación del volumen aire-vacíos al volumen específico del suelo» (Whitlow, 1998). **Plasticidad**: «tiene un efecto importante en las propiedades de ingeniería, como la resistencia al corte y la compresibilidad, se usa la consistencia plástica como base para su clasificación» (Whitlow, 1998). **Permeabilidad**: del suelo es la capacidad que tiene ésta para permitir el paso del agua, «depende de varios factores como: viscosidad del fluido, distribución del tamaño de los poros, distribución granulométrica, relación de vacíos, rugosidad de las partículas minerales y grado de saturación del suelo» (Das, 2001).

b) Factores mecánicos del suelo.

Están referidos a la resistencia que éste ofrece frente a cargas externas, tenemos: **Resistencia cortante del suelo**: «Es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él» (Das, 2001), se analiza los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, la cohesión y el ángulo de fricción interna. **Resistencia a compresión simple**: se usa como indicador de la consistencia de las arcillas, es adecuado su cálculo en suelos arcillosos mediante la prueba de compresión simple.

Tratamiento de suelos contaminados por aceite residual o hidrocarburos.

El aceite residual influye negativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Si estos suelos son contaminados con los productos del petróleo causan la degradación (Sztompka, 1999), no siendo adecuado para usos agrícolas, debiendo ser biorremediadas mediante muchos procesos, los cuales pueden ser: calefacción o aumento de la temperatura, fertilizante comercial oleófilo (Coulon, Pelletier, Gourhant, & Delille, 2005), el mismo clima frío del desierto polar, las características de los contaminantes, la temperatura, el bajo contenido de humedad (Sanscartier, Laing, Reimer, & Zeeb, 2009), la electroremediación consistente en aplicar corriente eléctrica para promover el movimiento de los contaminantes (Pazos, Rosales, Alcántara, Gómez, & Sanromán, 2010), utilización de la oxidación del peróxido de hidrógeno catalizada por oxígeno básico de residuos de escoria de hornos para remediar suelos contaminados con aceite o combustible diesel (Tsai & Kao, 2009), el método de la fitorremediación que tiene diversas clasificaciones con base en la actividad fisiológica de las plantas al enfrentar los contaminantes del suelo, de este modo se tienen plantas que son capaces de remover contaminantes inorgánicos y acumularlos en sus tejidos (fitoextracción, fitoacumulación y fitominería (Ferrera-Cerrato, Rojas-Avelizapa, Poggi-Varaldo, Alarcón, & Cañizares-Villanueva, 2006), finalmente también se puede indicar que existe la posibilidad de la inclusión de bacterias, los cuales puede acelerar la degradación de hidrocarburos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de estudio es de alcance correlacional, utilizándose para la interpretación y contraste de la hipótesis el coeficiente de correlación de Pearson.

La población de estudio es el suelo fino de baja plasticidad extraído del lugar denominado Patallani - Puno, cuyo tamaño muestral es 04 calicatas excavadas a 1.10m de profundidad.

Los materiales utilizados fueron el suelo fino y aceite residual. El aceite se mezcló en proporciones de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% del peso seco de la muestra de suelo.

Los instrumentos empleados fueron: Cuchara de Casagrande, vidrio esmerilado, tamices, equipo Proctor, pisón, permeámetro de carga variable (ensamblado en laboratorio), balanza, horno, equipo triaxial y equipo de compresión uniaxial.

RESULTADOS**Características iniciales que presenta el suelo arcilloso.**

El suelo natural en estudio una arcilla de baja plasticidad (CL), con poca presencia de limos, arenas y gravas, el cual se encuentra en la parte superficial hasta una profundidad aproximada de 1.10 m, a partir del cual se encuentra lecho de roca. La densidad seca del suelo es de 1.58 g/cm³, humedad natural de 22.63% variando según las estaciones del año.

Tabla 01
Características granulométricas y plásticas del suelo.

Característica	Símbolo	Porcentaje
Tamaño de las partículas		
Grava	G	4.12
Arena	S	27.02
Limo y arcilla	M y C	68.86
Límites de Atterberg		
Límite líquido	LL	37.86
Límite plástico	LP	21.97
Índice de plasticidad	IP	15.89

Fuente: Elaboración propia. En base a los ensayos de granulometría y plasticidad.

De la tabla 01, el 4.12% es grava, el 27.02% es arena y el 68.86% de la muestra es limo y arcilla; por tanto es un suelo de grano fino, pero debido a su índice de plasticidad de 15.90%, el suelo se clasifica como CL según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Factores físicos del suelo arcilloso afectados por el aceite residual.

Se analizan los factores físicos que se muestran en la tabla 02.

Tabla 02
Características físicas del suelo a diferentes contenidos de aceite residual

Indicador	Und.	0%	2%	4%	6%	8%	10%	r	p
Límite líquido, LL	%	37.86	25.49	23.98	23.73	22.94	17.38	-0.869	0.025
Límite plástico, LP	%	21.97	18.93	15.87	15.89	14.52	13.74	-0.943	0.005
Índice de plasticidad, IP	%	15.89	6.56	8.11	7.84	8.42	3.64	-0.736	0.095
Densidad seca máxima, $\gamma_{dm\max}$	g/cm ³	1.96	2.02	1.97	1.91	1.87	1.77	-0.882	0.020
Contenido de humedad óptimo, CHO	%	10.6	8.1	7.8	7.5	6.5	5.8	-0.941	0.005
Permeabilidad, k	cm/s	1.18E-3	6.23E-4	2.45E-4	1.75E-4	1.11E-4	9.86E-5	-0.880	0.021

Fuente: Elaboración propia. En base a los ensayos de granulometría y plasticidad.

El límite líquido bajó en 54.1% y el límite plástico en 37.5% al 10% de contenido de aceite en comparación al suelo natural. Al determinar el límite plástico se ha observado que el suelo se resquebraja a contenidos de humedad por debajo del suelo no contaminado. Por tanto, se concluye que hay una reducción de los límites de plasticidad, el aceite residual sustituye al agua. Los índices $r = -0.869$ y $r = -0.943$ para el límite líquido y límite plástico respectivamente, indican que existe una

correlación inversa muy alta entre el contenido de aceite residual y el límite líquido y límite plástico, es decir a mayor contenido de aceite residual se observa una reducción de ambos límites, lo cual resulta ser significativo ($p < 0.05$). El coeficiente $r = -0.736$ para el índice plástico indica que existe una correlación inversa alta entre el contenido de aceite y el índice plástico, lo cual se presenta con tendencia ($p > 0.05$).

EFFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO FINO

En el estudio el máximo contenido de humedad cayó de 10.6% a 5.8%. Si se utiliza el aceite residual como estabilizador para la compactación de terraplenes hay que tener en cuenta que inicialmente aumenta la densidad seca y por consiguiente la resistencia, entonces la utilización del aceite residual en pequeñas cantidades, de 2% al 4% en peso seco de la muestra mejoraría a la compactabilidad del suelo. Los índices $r = -0.882$ y $r = -0.941$ para la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo respectivamente indican que hay una correlación inversa muy alta entre el contenido de aceite y los indicadores mencionados, resultando ser significativos ($p < 0.05$).

Tenemos una reducción de la permeabilidad de $1.18E-3$ a $9.86E-5$ cm/s. El coeficiente $r = -0.880$ indica que hay una correlación inversa muy alta por lo que a mayor contenido de aceite residual menor permeabilidad del suelo, resultando ser significativo ($p < 0.05$).

Factores mecánicos del suelo arcilloso afectados por el aceite residual.

Se analizan los factores mecánicos que se analizan de acuerdo a la tabla 03.

Tabla 03
Características mecánicas del suelo a diferentes contenidos de aceite residual

Indicador	Und.	0%	2%	4%	6%	8%	10%	r	p
Resistencia a compresión simple, q_u	kg/cm ²	5.23	7.27	7.61	3.19	2.35	1.78	-0.775	0.070
Cohesión, c	kg/cm ²	0.34	0.33	0.44	0.27	0.17	0.16	-0.768	0.074
Ángulo de fricción interna, ϕ	Phi	9.52	10.15	13.12	10.65	10.15	8.67	-0.238	0.649

Fuente: Elaboración propia. En base a los ensayos de granulometría y plasticidad.

Para el estudio q_u bajó de 5.23 a 1.78 kg/cm² al 10% de aceite (aproximadamente un -66%), lo que concuerda con los autores tratados, pero hay un incremento de este esfuerzo en el intervalo del 2% al 4% de aceite, el cual debe ser considerado para analizar la estabilización o mejoramiento de suelos finos en obras civiles, porque se tiene un incremento de 2.38 kg/cm². El coeficiente $r = -0.775$ indica que existe una correlación inversa alta entre el contenido de aceite y la resistencia a compresión simple, presentándose con tendencia ($p > 0.05$).

La cohesión del suelo se reduce de 0.34kg/cm² a 0.17kg/cm² al 10% de contenido de aceite. $r = -0.768$ indica que existe una correlación inversa alta entre el contenido de aceite y la cohesión del suelo, considerándose solo de tendencia ($p > 0.05$).

En cuanto al ángulo de fricción del suelo hay un valor máximo de 13.12° entre el 2% y 4% de contenido de aceite residual, realizado en pruebas triaxiales. El coeficiente $r = -0.238$ con $p = 0.649$, indica que existe correlación baja entre el contenido de aceite y el ángulo de fricción interna del suelo, por tanto no se podría generalizar de que a mayor contenido de aceite residual incrementa o disminuye el ángulo de fricción interna del suelo.

DISCUSIÓN

El aceite residual mezclado con el suelo reduce los **límites líquido y plástico**, decrementos significantes se han determinado en ambos límites líquido y plástico con el incremento de la duración de la contaminación con aceite por encima de aproximadamente 3 meses (Nazir, 2012). Para el suelo fino de grado VI, la caída era significativamente alta para el límite líquido (39%) y baja para el límite de plástico (19%) al 16% de contenido de aceite (Rahman et al., 2010), lo que es consistente con el presente estudio.

El suelo mezclado con aceite residual muestra una constante caída en la **máxima densidad seca** con el incremento del contenido de aceite de 1.96 a 1.77 kg/cm³ al 10% de aceite (aproximadamente -9.7%).

Estos resultados son consistentes con otros resultados que indican que la compactabilidad de todas las muestras de suelo aumenta con el incremento del contenido de hidrocarburo debido a la reducción de la máxima densidad seca y contenido óptimo de agua, la reducción es más en el contenido óptimo de agua, indicando el exceso de aceite en el suelo, y la tasa de reducción en la máxima densidad seca es más rápido para muestras SM y CL (Khamehchiyan et al., 2007), otro investigador indica un decremento en la máxima densidad seca (-4%) (Shah et al., 2003). Para suelos de grado VI la DSM disminuyó de 1.60 a 1.55 g/cm³, los valores de OCH cayeron de 23.0 a 16.5% para suelos de grado VI cuando los contenidos de aceite fueron aumentados hasta el 16% (Rahman et al., 2010). Los mayores incrementos de densidad máxima para el ensayo de proctor estándar y proctor modificado se encuentran en las combinaciones de 75% de agua y 25% de aceite y 50% de agua y 50% de aceite, respectivamente (Reyes Ortiz, 1997), lo que equivaldría a la utilización de un 2.5% a 5% de aceite respecto a la humedad óptima. Se observa además que entre el 2% y 4% la densidad seca aumenta a 2.02 g/cm³, en cambio para valores de más de 4% de aceite en el suelo disminuye considerablemente

La contaminación con petróleo induce a una reducción en la **permeabilidad** (Khamehchiyan et al., 2007), la permeabilidad del suelo fino de grado VI disminuyó de 2.65 a 0.22 E-05 cm sec⁻¹, respectivamente (Rahman et al., 2010). Este efecto es importante para aplicaciones ingenieriles, como impermeabilización de presas, terraplenes y muros de contención, mas no así para suelos agrícolas volviéndolo infértil, debido a que el aceite residual ocupa los vacíos del suelo y no permite el paso del agua a través de él.

El **esfuerzo a compresión simple** también se reduce cuando se incrementa el contenido de aceite residual. Las muestras CL cambiaron de una consistencia dura (q_u igual a 400 KN/m² al 0%) a una consistencia suave al 10% del contenido de hidrocarburo (Khamehchiyan et al., 2007), decremento en el esfuerzo de compresión inconfinaada (-35%) (Shah et al., 2003), los valores de C_u para suelos no contaminados de grado VI fue de 106 kPa; bajaron a un valor de 32

kPa al contenido de aceite de 16% (Rahman et al., 2010), la contaminación con aceite causa una significativa reducción en el esfuerzo de compresión inconfiada que llega al 38% comparado con el valor de control (Nazir, 2012). Por otro lado también se puede usar en concreto asfáltico de una calidad que puede ser usado por caminos secundarios, bases y sub bases de caminos, capas impermeables para vertederos y facilidades de contención, o estabilización de terraplenes excesivos (Al-Mutairi & Eid, 1997). El incremento inicial del esfuerzo a compresión simple del 2 al 4% de aceite residual muestra valores de 7.27 y 7.61 kg/cm² respectivamente.

El efecto de la contaminación con petróleo en los **parámetros de esfuerzo cortante** no es uniforme y depende del tipo de suelo, de pruebas de corte directo se ha reportado que hay una directa correlación entre el contenido de aceite y el ángulo de fricción interna ϕ en suelos arcillosos CL (Khamehchiyan et al., 2007). En cuanto a la cohesión hay una extrema reducción con el incremento del contenido de aceite en suelos CL, lo que es corroborado por nuestra investigación, reducción de 0.34 kg/cm² a 0.16 kg/cm² al 10% de aceite (aproximadamente -53%). Otras investigaciones también indican un decremento en la cohesión (-66%) y ángulo de fricción interna (-23%) para suelo contaminado con petróleo (Shah et al., 2003). Con base en la relación de la consistencia y esfuerzo de compresión de la arcilla, la muestra CL cambia de una consistencia dura a una consistencia suave con el incremento del contenido de aceite residual. Al 4% de aceite se tiene una cohesión máxima de 0.44 kg/cm².

CONCLUSIONES

Los indicadores de los factores físicos del suelo como el límite líquido, límite plástico, índice plástico, densidad seca máxima, contenido de humedad óptimo y la permeabilidad son reducidos con el incremento de aceite desde el 0% al 10% en 20.48%, 8.23%, 12.25%, 0.19g/cm³, 4.8% y $1.1 \cdot 10^{-3}$ cm/s respectivamente. El aceite residual favorece el proceso de compactación aumentando la densidad seca máxima en un rango del 2% al 4%, reduciéndose ésta, cuando aumenta el contenido de aceite a más del 4%.

Los factores mecánicos del suelo como la resistencia a compresión simple y cohesión se reducen con incrementos paulatinos de aceite desde el 0% al 10% en 3.45 kg/cm² y 0.18 kg/cm² respectivamente, hay que observar que el esfuerzo en compresión simple aumenta en el rango del 2% al 4% de aceite hasta 7.61 kg/cm², igualmente la cohesión llega hasta 0.44 kg/cm². No existiendo correlación entre el ángulo de fricción interna del suelo y el contenido de aceite; pero también se debe observar que hay un incremento ligero al 4% de aceite residual.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la UNA Puno por el apoyo en la realización de los ensayos de laboratorio.

A la Revista de Investigaciones Altonadinas de la UNA Puno, por permitir la publicación de la presente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Mutairi, N. M., & Eid, W. K. (1997). Utilization of oil-contaminated sands in asphalt concrete for secondary roads. *Materials and Structures*, 30, 497-505.
- Arner, A., Barberán, R., & Mur, J. (2006). la política de gestión de residuos: Los aceites usados. *Revista de economía aplicada*, XIV, 81-100.
- Calderón, M. A., Moreno, M. M., & Barra, J. E. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(005), 605-620.
- Coulon, F., Pelletier, E., Gourhant, L., & Delille, D. (2005). Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated sub-Antarctic soil. *Chemosphere*, 58(10), 1439-1448. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.10.007
- Crespo Villalaz, C. (2011). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Editorial Limusa.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Editorial Thomson.
- Dawson, J. J. C., Godsiffe, E. J., Thompson, I. P., Ralebitso-Senior, T. K., Killham, K. S., & Paton, G. I. (2007). Application of biological indicators to assess recovery of hydrocarbon impacted soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(1), 164-177. doi: 10.1016/j.soilbio.2006.06.020
- Ferrera-Cerrato, R., Rojas-Avelizapa, N. G., Poggi-Valardo, H. M., Alarcón, A., & Cañizares-Villanueva, R. O. (2006). Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Revista Latinoamericana en Microbiología*, 48(2), 179-187.
- Gonzales de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. España: Editorial Prentice Hall.
- Khamehchiyan, M., Hossein Charkhabi, A., & Tajik, M. (2007). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 89(3-4), 220-229. doi: 10.1016/j.enggeo.2006.10.009
- Loureiro, S., Soares, A. M. V. M., & Nogueira, A. J. A. (2005). Terrestrial avoidance behaviour tests as screening tool to assess soil contamination. *Environmental Pollution*, 138(1), 121-131. doi: 10.1016/j.envpol.2005.02.013
- Loxham, M., Orr, T. And Jefferies, S. A. (1997). Contaminated land reclamation. *Environmental Geotechnics*, 113-133.
- Mena Nieves, M. A. (2009). *Estándares de gestión medio ambiental en talleres de mecánica automotriz*. Lima: Universidad

EFFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO FINO

Nacional Mayor de San Marcos, EAP de Ingeniería Industrial.

Nazir, A. K. (2012). Effect of motor oil contamination on geotechnical properties of over consolidated clay. *Alexandria Engineering Journal*, 50(4), 331-335.

Néder Muñoz, C., & R. Marín, J. (2003). Aplicaciones del Análisis de Aceite Usado en Motores a Diesel de Uso Marino: FIMCM, ESPOL.

Pazos, M., Rosales, E., Alcántara, T., Gómez, J., & Sanromán, M. A. (2010). Decontamination of soils containing PAHs by electroremediation: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 1-11. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.11.055

Rahman, Z. A., Hamzah, U., Taha, M. R., Ithnain, N. S., & Ahmad, N. (2010). Influence of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Basaltic Residual Soil. *American Journal of Applied Sciences*, 7, 954-961.

Reyes Ortiz, O. J. (1997). Uso de aceite quemado para mejorar bases y sub bases granulares. Grupo Investigación Geotécnica Universidad Militar Nueva Granada.

Rico Rodriguez, A., & Del Castillo, H. (2001). La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Mexico: Editorial Limusa.

Sabroso Gonzales, D. C., & Pastor Eixarch, A. (2004). Guía sobre suelos combinados. Aragón Zaragoza: CEPIME ENTECSA.

Sanscartier, D., Laing, T., Reimer, K., & Zeeb, B. (2009). Bioremediation of weathered petroleum hydrocarbon soil contamination in the Canadian High Arctic: Laboratory and field studies. *Chemosphere*, 77(8), 1121-1126. doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.09.006

Shah, S. J., Shroff, A. V., Patel, J. V., Tiwari, K. C., & Ramakrishnan, D. (2003). Stabilization of fuel oil contaminated soil - A case study. *Geotechnical and Geological Engineering*, 21, 415 - 427.

Shigenaka, G. (2011). Effects of Oil in the Environment - Chapter 27. In F. Mervin (Ed.), *Oil Spill Science and Technology* (pp. 985-1024). Boston: Gulf Professional Publishing.

Sztompka, E. (1999). Biodegradation of engine oil in soil. *Acta microbiológica polónica* 489, 185 - 196.

Torres Delgado, K., & Zuluaga Montoya, T. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Tsai, T. T., & Kao, C. M. (2009). Treatment of petroleum-hydrocarbon contaminated soils using hydrogen peroxide oxidation catalyzed by waste basic oxygen furnace slag. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1), 466-472. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.04.073

Whitlow, R. (1998). *Fundamentos de Mecánica de Suelos*. México: Compañía Editorial Continental.

Yong, R. N. (2001). *Geoenvironmental Engineering: Contaminated Soil, Pollution Fate, and Mitigation*. CRC Press.

FIGURAS



Figura 01: Suelo mezclado con aceite residual.

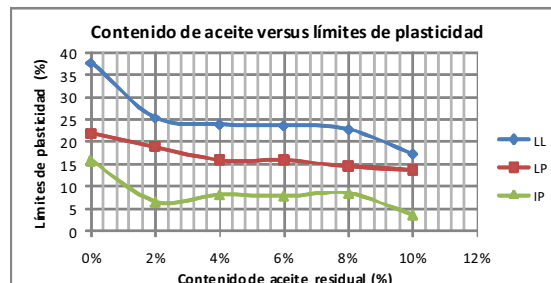


Figura 02: Relación entre el contenido de aceite residual y los límites de plasticidad.

Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 02.

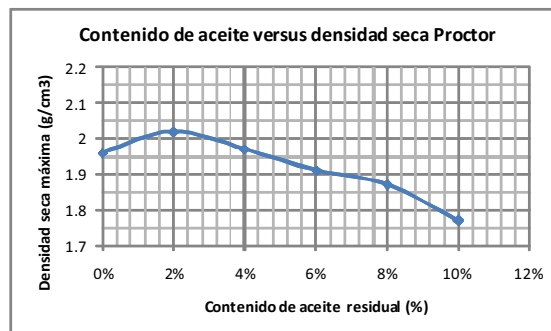


Figura 03: Relación entre el contenido de aceite residual y la máxima densidad seca.

Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 02.

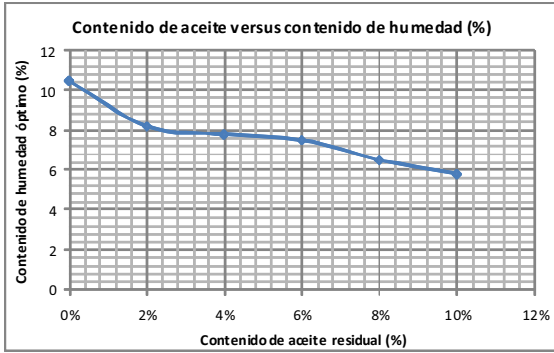


Figura 04: Relación entre el contenido de aceite residual y el contenido de humedad óptimo.
Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 02.

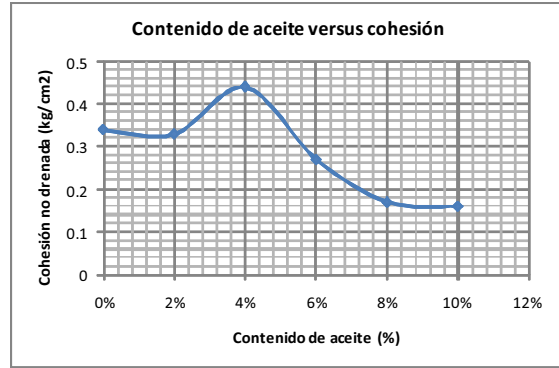


Figura 07: Relación entre el contenido de aceite residual y la cohesión.
Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 03.

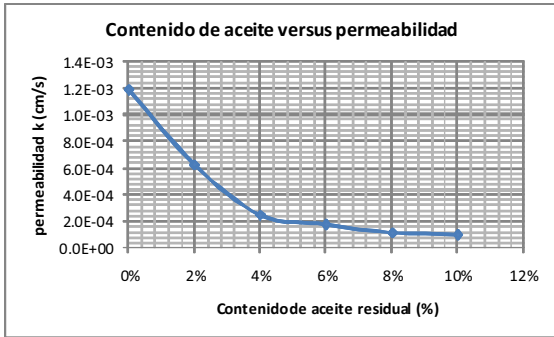


Figura 05: Relación entre el contenido de aceite residual y la permeabilidad.
Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 02.

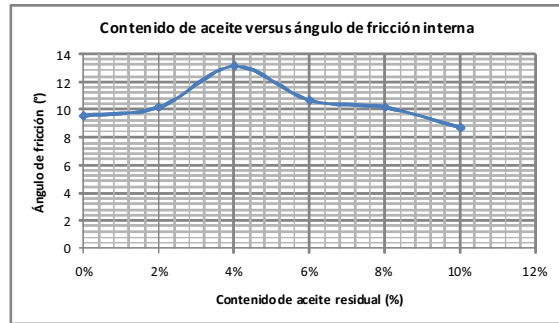


Figura 08: Relación entre el contenido de aceite residual y el ángulo de fricción interna.
Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 03.

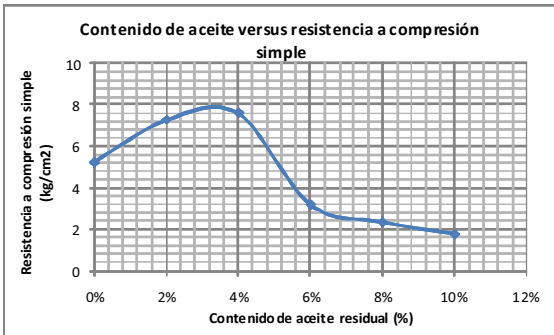


Figura 06: Relación entre el contenido de aceite residual y la resistencia a compresión simple.
Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 03.