



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POST GRADO

PROGRAMA DE DOCTORADO

CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**EFFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS
FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO**

PRESENTADA POR:

SAMUEL HUAQUISTO CACERES

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

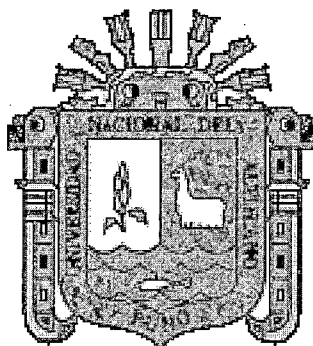


PUNO - PERÚ

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
BIBLIOTECA CENTRAL AREA DE TESIS
Fecha Ingreso: 14 JUL 2015
Nº 0830

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSTGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO
CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**EFFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS
FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO**

PRESENTADA POR:

SAMUEL HUAQUISTO CACERES

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO - PERÚ

2014

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSTGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO
CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

TESIS

**EFFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS
FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO**

**PRESENTADA POR:
SAMUEL HUAQUISTO CACERES**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


.....
Dr. SABINO ATENCIO LIMACHI

PRIMER MIEMBRO

:


.....
Dr. GERMAN PEDRO YÁBAR PILCO

SEGUNDO MIEMBRO:

:


.....
Dr. JUAN WALTER TUDELA MAMANI

ASESOR DE TESIS

:


.....
Dr. JOSÉ JUSTINIANO VERA SANTA MARÍA

Perú - Perú

2014

AGRADECIMIENTOS

A los jurados del trabajo de investigación Dr. Sabino ATENCIO LIMACHI, Dr. Germán Pedro YÁBAR PILCO y Dr. Juan Walter TUDELA MAMANI por sus sugerencias, análisis y crítica constructiva a la presente investigación.

Al asesor y jurado de la investigación Dr. José Justiniano VERA SANTA MARÍA por el asesoramiento y apoyo desinteresado a la realización de la presente investigación.

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

A mi madre y hermanas por su apoyo desinteresado a la realización de la presente investigación.

Samuel Huaquisto Cáceres

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	viii
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Preguntas del problema.....	3
1.3 Objetivos de investigación.....	4
1.4 Hipótesis de investigación.....	4
1.5 Justificación.....	5
1.6 Delimitación.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.	
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.2 Marco referencial.....	14
CAPITULO III: METODOLOGÍA.	
3.1 Ámbito de estudio.....	41
3.2 Población y muestra.....	42
3.3 Descripción de métodos por objetivos específicos.....	42
3.4 Procedimiento del estudio.....	44
3.5 Técnica estadística.....	45

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1	Características iniciales del suelo natural.....	47
4.2	Características físicas del suelo.....	49
4.3	Característica mecánicas del suelo.....	56
	CONCLUSIONES.....	61
	RECOMENDACIONES.....	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	64
	ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01:	Características del aceite quemado o residual.....	21
Cuadro 02:	Actividades de mantenimiento y reparación de vehículos a motor.....	22
Cuadro 03:	Parámetros del compuesto químico, suelo y ambiente que influyen en el transporte a través del suelo.....	24
Cuadro 04:	Indicadores medioambientales para evaluar la calidad de suelos contaminados.....	25
Cuadro 05:	Características granulométricas y plásticas del suelo, Puno 2013.....	48
Cuadro 06:	Plasticidad del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.....	49
Cuadro 07:	Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.....	51
Cuadro 08:	Permeabilidad del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.....	54
Cuadro 09:	Resistencia a compresión simple del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.....	56
Cuadro 10:	Cohesión y ángulo de fricción interna del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01:	Suelo mezclado con aceite residual, Puno 2013.....	48
Figura 02:	Relación entre el contenido de aceite residual y los límites de plasticidad, Puno 2013.....	50
Figura 03:	Relación entre el contenido de aceite residual y la máxima densidad seca, Puno 2013.....	52
Figura 04:	Suelo compactado con aceite residual, Puno 2013.....	52
Figura 05:	Relación entre el contenido de aceite residual y el contenido de humedad óptimo, Puno 2013.....	53
Figura 06:	Relación entre el contenido de aceite residual y la permeabilidad, Puno 2013.....	55
Figura 07:	Relación entre el contenido de aceite residual y la resistencia a compresión simple, Puno 2013.....	57
Figura 08:	Relación entre el contenido de aceite residual y la cohesión, Puno 2013.....	59
Figura 09:	Relación entre el contenido de aceite residual y el ángulo de fricción interna, Puno 2013.....	59

RESUMEN

El hidrocarburo residual impacta negativamente en suelos donde se ubican talleres de mantenimiento de maquinaria vehicular y plantas de procesamiento de áridos en la Región Puno en el año 2013; siendo su utilidad aplicable a la estabilización de suelos en obras de ingeniería. Por tanto el objetivo del estudio es determinar el efecto que ocasiona el aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo. Para tal fin como proceso metodológico 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 y sometidos a ensayos de laboratorio, estableciendo primero las características iniciales que presenta el suelo; luego el efecto que produce el incremento del aceite residual en los factores físico mecánicos del suelo. La consistencia del estudio se realizó mediante la estadística correlacional usando el coeficiente de Pearson. Los resultados indican que hay 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/cm^3 a 1.77 g/cm^3 , del contenido de humedad óptimo de 10.6% a 5.8% y de la permeabilidad de $1.18 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ a $9.86 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$. La resistencia a compresión simple aumenta hasta 7.61 kg/cm^2 en un rango del 2% al 4%, más allá del 4% tiende a disminuir considerablemente; también se observa una disminución de la cohesión de 0.34 kg/cm^2 a 0.16 kg/cm^2 ; pero en el rango de 2% a 4% aumenta a 0.44 kg/cm^2 , el ángulo de fricción interna aumenta inicialmente de 9.52° al 0% a 13.12° al 4% de aceite residual luego de este valor se observa un decremento no existiendo correlación. Por consiguiente, se concluye que existe una correlación inversa entre el contenido de aceite residual y los factores físico mecánicos del suelo, exceptuando al ángulo de fricción interna, lo que significa que a mayor contenido de aceite residual se reducen los valores de las características físico mecánicas del suelo, considerándose adecuado su utilización en un rango del 2% al 4% para estabilizaciones de suelos.

Palabras clave: aceite-residual, cohesión-fricción, densidad, plasticidad, suelo.

ABSTRACT

The residual hydrocarbon negative impact on soils where vehicle maintenance workshops machinery and aggregates processing plants in the Puno Region in 2013 are located; be as applicable to soil stabilization in engineering utility. Therefore, the objective of the study is to determine the effect caused by the residual oil in heavy machinery mechanical soil physical factors. To this end as methodological process proceeded to the soil sample mixed with residual oil, in proportions of 0%, 2%, 4%, 6%, 8% and 10% by dry weight, and subjected to laboratory tests, setting first initial soil characteristics presented; then the effect produced by the increase of the residual oil in the mechanical physical soil factors. Consistency of the study was performed by using the statistical correlation coefficient of Pearson. The results indicate that there is a decrease, from 0% to 10% oil, plasticity indices of 15.89% to 3.64% of the maximum dry density of 1.96 g/cm^3 to 1.77 g/cm^3 , the moisture content optimum of 10.6% to 5.8% and the permeability of $1.18 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ to $9.86 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$. The unconfined compressive strength increased to 7.61 kg/cm^2 in a range of 2% to 4%, more than 4% tends to decrease greatly; a decrease in the cohesion of 0.34 kg/cm^2 to 0.16 kg/cm^2 is also observed; but in the range of 2% to 4% increased to 0.44 kg/cm^2 , the internal friction angle of 9.52° initially increases to 0% to 4% 13.12° residual oil after this value decreased and there is no correlation observed. Therefore, we conclude that there is an inverse correlation between the residual oil content and physical factors of soil mechanics, except for the angle of internal friction, which means that the higher residual oil content values of physical and mechanical characteristics are reduced soil, considered suitable for use in a range of 2% to 4% for soil stabilization.

Key words: oil-residual, cohesion, friction, density, plasticity, soil .

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación titulada "Efecto del aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo" se realizó con el propósito de analizar el efecto del aceite residual en los suelos y dar los alcances positivos para su utilización en la estabilización o mejoramiento de suelos, así como proponer alternativas de solución a la contaminación de este tipo de residuos. Por tanto el trabajo de investigación está dividido en cuatro capítulos y estructurado de manera secuencial, finalizando con las conclusiones, sugerencias y anexos, los cuales se detalla a continuación.

El primer capítulo, referente al problema de investigación, hace referencia al planteamiento del problema formulándose la siguiente pregunta general de investigación ¿Qué efecto presenta el aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo, en el año 2013?, estableciéndose así los objetivos, las hipótesis, la delimitación y la justificación, los cuales dieron orientación al trabajo de investigación. El segundo capítulo, referente al marco teórico, presenta los antecedentes de la investigación, el marco referencial donde se considera la explicación y sustento teórico de la presente investigación. En el capítulo tres, concerniente a la metodología, se tiene al ámbito de estudio, la población y muestra, la descripción de métodos por objetivos específicos, el procedimiento de estudio y la técnica estadística de la investigación. En el capítulo cuarto, de resultados y discusión, se presenta las características iniciales del suelo fino estudiado analizándose las propiedades granulométricas y plásticas del suelo, luego se analiza las características físicas y mecánicas del suelo que han sido afectadas en sus propiedades por el incremento del aceite residual.

Finalmente la presente investigación presenta las conclusiones a las que se ha llegado en función a objetivos específicos con las correspondientes recomendaciones.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el mundo la constante contaminación del medio ambiente con los hidrocarburos y sus derivados así como sus residuos contaminan grandes áreas de terreno fértil sin que haya ningún tratamiento o mitigación al respecto. En el suelo los aceites usados afectan a la fertilidad, y en el agua la película flotante impide el enriquecimiento con oxígeno, indispensable para la vida de los microorganismos y para los procesos de renovación y reactivación. Los animales acuáticos mueren asfixiados por los restos de lubricantes que les tapan sus branquias. Como derivados del crudo, los aceites contienen una preocupante cantidad de metales pesados, que llegan al cuerpo humano a través de la cadena alimentaria. Así, los aceites usados están eliminándose por procedimientos no acordes con su tratamiento, como el vertido en terrenos y cauces de agua y no se aprovecha su valor potencial en estabilización de suelos, produciendo por el contrario, peligrosas contaminaciones en el medio.

A menudo se generan millones de toneladas de aceite residual cada año los mismos que contaminan el suelo sin un tratamiento adecuado para su bioremediación. Aproximadamente 540 BPD (barriles por día) son incorporados al mercado de los combustibles, particularmente en hornos y calderas de industrias medianas y pequeñas, como talleres de fundición, talleres de metalmecánica, pequeños chircales, textileras, siderúrgicas pequeñas, fábricas de confecciones, lavanderías, etc. (Gómez Giraldo, 2005). Donde se presume

que los manejos dados son inadecuados, debido a que muchos lo vierten al medio ambiente afectando las propiedades de los suelos y las aguas subterráneas existentes.

El negocio de los aceites en el mundo es complejo, grande y muy rentable. Los países europeos consumen anualmente unos 4.7 millones de toneladas, Japón 2.2 millones y Estados Unidos de América 7.6 millones. Los aceites residuales generados representan más del 60% de los aceites lubricantes consumidos. Esto hace que los aceites usados sean uno de los residuos contaminantes más abundantes que se generan actualmente, pudiendo alcanzarse la cifra de 24 millones de Tm/año (Reyes Ortiz, 1997). En la Región Puno concretamente referido a las ciudades de Puno y Juliaca cada lubricentro o taller de mantenimiento y reparación de vehículos genera en promedio de 10 a 20 litros diarios de aceite quemado, lo que multiplicado por la cantidad de estos talleres existentes generan grandes cantidades de aceite.

La contaminación por residuos tóxicos (gases, lubricantes, aceites, grasas, combustibles, desechos, etc.) en tramos carreteros que se encuentran en construcción vial y mantenimiento rutinario actualmente, está aumentando la problemática ambiental, debido a la inadecuada localización, manipulación, traslado y eliminación de los diferentes residuos tóxicos que se van generando durante la actividad. Los tóxicos presentes en los tramos en construcción y mantenimiento se caracterizan por su mayor volumen o por su mayor toxicidad: gases, lubricantes, aceites, grasas, combustibles, desechos orgánicos, desechos domésticos, campamentos, etc. Los tóxicos utilizados en los proyectos viales y los que generan son emitidos al entorno del lugar ocasionando posibles daños al medio ambiente y a la salud pública. "Estas sustancias son capaces de deteriorar el medio Físico: el aire, los suelos, el agua y el paisaje, así también el medio Biótico: la flora y la fauna y el medio Antrópico: el ser humano" (Antezana Jemio, 2009). Los proyectos carreteros necesitan de un estudio donde se delimiten los lugares específicos para situar las maquinarias pesadas, lugares para depositar sustancias tóxicas y el tratamiento ambiental que se le debe dar para su control, para plantear un Plan de Manejo Ambiental de tóxicos y que el impacto sea el menor posible.

Los suelos mezclados con los diferentes componentes de los productos derivados del petróleo y sus residuos, tal es el caso del hidrocarburo policíclico aromático, el petróleo, gasolina, lubricantes y los aceites residuales se ven afectados en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Entre las propiedades físico mecánicas afectadas por la mezcla suelo aceite tenemos a la textura, plasticidad, permeabilidad, contenido de humedad, densidad, parámetros de esfuerzo cortante, dentro de las propiedades químicas tenemos ph, conductividad eléctrica, cantidad de N y P, elementos extraíbles, y dentro de las propiedades biológicas están el contenido de humedad, biomasa microbiana, temperatura, N potencialmente mineralizable. Finalmente existen algunas alternativas de remediación de suelos contaminados, dentro de los cuales destaca la fitoremediación, aumento de temperatura, electroremediación y utilización de otros insumos desechables como las escorias de los hornos.

1.2 PREGUNTAS DEL PROBLEMA.

1.2.1 Problema General.

¿Qué efecto presenta el aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo, en el año 2013?

1.2.2 Problemas específicos.

¿Qué características iniciales presenta el suelo en estudio?

¿Cuál es el efecto que presenta el incremento del aceite residual en los factores físicos del suelo?

¿Cuál es el efecto que presenta el incremento del aceite residual en los factores mecánicos del suelo?

1.3 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.

1.3.1 Objetivo general.

Determinar el efecto que presenta el aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo, en el año 2013.

1.3.2 Objetivos específicos.

Establecer las características iniciales que presenta el suelo en estudio.

Determinar el efecto que presenta el incremento del aceite residual en los factores físicos del suelo.

Determinar el efecto que presenta el incremento del aceite residual en los factores mecánicos del suelo.

1.4 HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.

1.4.1 Hipótesis general.

Si se incrementa el contenido de aceite residual de la maquinaria pesada entonces se modifican los factores físico mecánicos del suelo, en el año 2013.

1.4.2 Hipótesis específicas.

Las características iniciales que presenta el suelo en estudio es un suelo fino de baja plasticidad.

A mayor contenido de aceite residual se reducen los parámetros de los factores físicos del suelo.

A mayor contenido de aceite residual se reducen los parámetros de los factores mecánicos del suelo.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación tiene el propósito de contribuir al conocimiento científico sobre el efecto que presenta el aceite residual en los factores físico mecánicos del suelo, como la plasticidad, densidad, humedad, permeabilidad, resistencia a compresión simple y resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Estos indicadores permiten analizar el comportamiento mecánico de los suelos frente a cargas externas los cuales se analizan en la estabilización de suelos con propósitos ingenieriles.

El estudio rescata aspectos positivos del efecto del aceite residual en el suelo, lo cual es el mejoramiento de suelos en obras civiles. En la norma del MTC se incluye como otros productos diversos a éste insumo para tal fin. Lo negativo radica cuando se vierte este insumo en la parte superficial de suelos agrícolas volviéndolos infértiles para el cultivo de plantas, es decir modifican sus propiedades físicas, químicas y biológicas de estos suelos.

En nuestra región carecemos de tecnologías para el tratamiento de este tipo de residuos de la construcción; en consecuencia se propone tecnologías de tratamiento y biorremediación del aceite residual que se genera por el funcionamiento y mantenimiento de vehículos y maquinaria pesada utilizada en la construcción de obras viales.

Finalmente ante el incremento del tránsito automotor, fábricas, ejecución obras civiles, debido al desarrollo económico, también la generación del aceite residual se ve incrementado; por tanto es un tema de interés en el aspecto tecnológico y ambiental

1.6 DELIMITACIÓN.

Actualmente el diseño y construcción de la mayoría de los proyectos geotécnicos están basados en ensayos de pruebas estándar ASTM y AASHTO. Estos estándares proveen condiciones controladas de temperatura y humedad, en el cual se utiliza agua destilada como fluido de poro. Pero, la condición y composición del agua es diferente en el ambiente debido a la infiltración de varios contaminantes. Por tanto la situación de campo y

condiciones de control estándar son significativamente diferentes, en consecuencia el fracaso prematuro o progresivo frecuentemente puede ocurrir (Fang, 1997).

El ámbito de estudio de la presente investigación son los tipos de suelos finos, arcillas de baja plasticidad (CL), propensos a contaminación por hidrocarburos generados por la utilización de maquinaria pesada para la preparación de materiales de construcción y mantenimiento de carreteras. Los suelos agrícolas finos son los que se ven afectados por el hidrocarburo.

Las propiedades físicas del suelo estudiado han sido la plasticidad, densidad seca máxima, contenido de humedad óptimo y permeabilidad. Las propiedades mecánicas del suelo analizadas son la resistencia a compresión simple y resistencia al esfuerzo cortante, dejando el estudio de otros factores como los químicos y biológicos a los profesionales de otras especialidades para su estudio.

Para la caracterización del aceite residual se tomó aspectos físicos como densidad y viscosidad de acuerdo a ensayos y teoría establecida hasta el momento. En la región de Puno no se cuenta con un laboratorio moderno que realice la composición físico química total del aceite residual, por tanto las demás características del aceite residual se tomará de estudios realizados anteriormente por otros autores.

En cuanto a la delimitación espacio temporal, el estudio de ha enfocado a la zona de Patallani, ubicado a un lado de la carretera Puno Juliaca, realizándose la toma de muestras en el mes de abril del año 2013. Esta zona se ubica a una altitud de 3819 msnm, caracterizándose el clima como seco y frío en toda la zona altiplánica.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Entre los estudios relacionados a la presente investigación tenemos:

La investigación "Efecto de la contaminación del aceite de motor en las propiedades geotécnicas de la arcilla sobreconsolidada" (Nazir, 2012), presenta el siguiente análisis:

- Decrementos significantes en ambos límites líquido y plástico es detectado con el incremento de la duración de la contaminación con aceite por encima de aproximadamente 3 meses; después del cual ellos permanecen constantes, mientras el suelo arcilloso mantiene la estructura estable debido a la reducción en el espesor de la doble capa.
- El coeficiente de permeabilidad es incrementado significativamente en tres veces respecto al valor de control con el incremento de la duración de la contaminación en un rango de esfuerzos bajos que es en una escala entre 100 y 200 kPa, que es casi más o menos el esfuerzo de pre consolidación. Incrementando la duración de la contaminación por encima de los 24 meses causa efectos menores en el coeficiente de permeabilidad en un rango de esfuerzos altos, que excede el esfuerzo de pre consolidación.

- La contaminación con aceite causa una significativa reducción en el esfuerzo de compresión inconfiada que llega al 38% comparado con el valor de control.
- El índice de compresión y el de expansión son incrementados con el incremento de la duración de la contaminación por encima de los 6 meses. El incremento alcanzó a valores casi el doble del valor base. Más allá de los 6 meses el efecto de la contaminación es demasiado menor.
- El esfuerzo histórico de la arcilla no es afectado por la contaminación con aceite.
- 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 en las propiedades geotécnicas de la arcilla sobreconsolidada.

En el estudio "Influencia de la contaminación por aceite en las propiedades geotécnicas del suelo residual basáltico", se presenta las propiedades geotécnicas del suelo mezclado con aceite así como suelo no contaminado para la comparación. La evaluación de los programas realizados en el estudio de suelos incluyen propiedades básicas, límites de Atterberg, compactación, permeabilidad y pruebas triaxiales no consolidados no drenados. Los suelos usados eran originarias de la roca basáltica erosionada de grado V y VI. Las muestras de suelo han sido artificialmente contaminadas con 4, 8, 12 y 16% de aceite del peso seco del suelo base. Los resultados mostraron que la contaminación con aceite disminuyó el valor del límite líquido y límite plástico para ambos grados de suelo erosionado. Para suelos de grado V, la disminución en el límite de plástico y el límite líquido fue representada por 21 y 39%, respectivamente. Entre tanto, para el suelo de grado VI, la caída era significativamente alta para el límite líquido (39%) y baja para el límite de plástico (19%) en comparación al suelo de grado V. Los suelos contaminados con aceite también indicaron una baja Densidad Seca Máxima (DSM) y óptimo contenido de humedad (OCH) en comparación con suelos no contaminados. La DSM para suelos de grado V y VI disminuyó de 1.67 a 1.50 y 1.60 a 1.55 g/cm³, respectivamente. Los valores de OCH cayeron de 23.5 a 17.5% para suelos de grado V y 23.0 a 16.5% para suelos de grado VI cuando los

contenidos de aceite fueron aumentados. Una reducción en la permeabilidad se observó como resultado de la contaminación con aceite. La permeabilidad de suelos de grado V y VI disminuyó de 3.74 a 0.22E-05 y 2.65 a 0.22E-05 cm sec^{-1} , respectivamente. En términos del aumento del esfuerzo cortante, C_u era claramente afectado por el aumento en el contenido de aceite en suelos contaminados. Ambos grados de suelo mostraron tensión familiar de comportamiento con un modo de falla quebradizo. Los valores de C_u para suelos no contaminados de ambos grados fueron de 126 y 106 kPa; entonces bajaron a valores muy cerrados de 35 y 32 kPa al contenido de aceite de 16%. Los resultados mostraron que la adición de aceite tiene efectos adversos a las propiedades geotécnicas del suelo residual estudiado (Rahman, Hamzah, Taha, Ithnain, & Ahmad, 2010).

El estudio "Efecto de la contaminación del crudo de petróleo en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos y arenosos", presenta pruebas y resultados de laboratorio de suelo mezclado con petróleo, los cuales son: propiedades básicas, límites de Atterberg, compactación, corte directo, compresión uniaxial y pruebas de permeabilidad en suelos limpios y contaminados de muestras de suelo a las mismas densidades. La compactabilidad de todas las muestras de suelo aumenta con el incremento del contenido de petróleo debido a la reducción de la máxima densidad seca y contenido óptimo de agua. La reducción es mas 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. En general, la contaminación con petróleo induce a una reducción en la permeabilidad y esfuerzo de todas las muestras de suelo, las muestras CL cambiaron de una consistencia dura (qu igual a 400 KN/m^2 al 0%) a una consistencia suave al 10% del contenido de hidrocarburo. Sin embargo, el efecto de la contaminación con petróleo en los parámetros de esfuerzo cortante no es uniforme y depende del tipo de suelo pero lleva a un decremento pico del esfuerzo cortante en todas las muestras estudiadas, los resultados muestran una directa correlación entre el contenido de aceite y el ángulo de fricción interna en suelos CL y una correlación inversa entre el contenido de aceite y el ángulo de fricción interna en suelos SP y SM. Hay extrema reducción en la cohesión con el incremento

del contenido de aceite en suelos CL, mientras esta correlación no tiene alguna trayectoria clara en suelos SM, en muestras SP tienen baja cohesión debido a la contaminación de aceite que puede ser el resultado de la viscosidad y la cohesión inherente del aceite (Khamehchiyan, Hossein Charkhabi, & Tajik, 2007).

En el estudio "Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelos arcillosos", se indican que los hidrocarburos producen efectos importantes sobre las propiedades de textura, materia orgánica, densidad real y porosidad de suelo arcilloso, las cuales varían en función del tipo y concentración del contaminante (Martínez M. & Lopez S., 2001).

En el estudio "Contaminación del suelo bajo las carreteras de asfalto por hidrocarburos aromáticos polinucleares, zinc, plomo y cadmio" se ha encontrado que: la contaminación del suelo por hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) y benzo[a]pireno bajo la superficie de la carretera es sólo igual al 26% y 30% de la contaminación al lado de la carretera en la misma profundidad de suelo. La contaminación del suelo por zinc, plomo y cadmio por debajo de la superficie de la carretera es solamente igual a 36%, 43% y 78%, respectivamente, de la contaminación del suelo al lado de la carretera (Münch, 1992).

En el estudio "Eliminación de residuos del aceite de oliva en los estanques de evaporación de las fábricas: efectos en las propiedades del suelo" (Kavvadias, Doula, Komnitsas, & Liakopoulou, 2010). Se evalúa los efectos de la eliminación del aceite residual de las fábricas (OMW) en estanques de evaporación en las propiedades de suelo subyacente en el sitio de disposición general, así como los impactos de la aplicación de OMW sobre los suelos agrícolas. En el caso de sitios de disposición activa, el contenido de carbonato en la mayoría de los suelos se redujo, mientras que el suelo CE, así como de Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NH_4^+ y particularmente concentraciones de K^+ se incrementó sustancialmente. El pH del suelo sólo aumentó marginalmente. Las concentraciones disponibles de fenol, N, P disponible y PO_4^{3-} fueron considerablemente mayores en las capas superiores de suelo en las zonas adyacentes a los estanques. La disponibilidad de B, así como la extracción

DTPA Cu, Zn y Fe aumentó considerablemente. Mas parámetros de la superficie del suelo mostraron valores mayores en el sitio inactivo 6 años después del cierre del molino y del cese de las actividades de eliminación de OMW pero las diferencias fueron disminuidos en las capas más profundas. Por consiguiente, se llegó a la conclusión de que a largo plazo la eliminación incontrolada de crudo OMW en los suelos puede afectar a las propiedades de suelos y posteriormente aumentar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

El estudio sobre "El estado del suelo contaminado por químicos orgánicos semivolátiles (SVOCs) en China" (Cai, Mo, Wu, Katsoyiannis, & Zeng, 2008), revela que se ha encontrado compuestos químicos que contaminan el suelo agrupados en seis categorías: las dibenzo-p-dioxinas y dibenzo furanos policlorados (PCDD/Fs), bifenilos policlorados (PCB), pesticidas organoclorados (OCP), hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), éteres polibromados dipenil (PBDEs) y ésteres de ácido ftálico (PAE).

En el estudio "Eco-toxicidad del hidrocarburo de petróleo en la contaminación del suelo" (Tang, Wang, Wang, Sun, & Zhou, 2011), se analiza que la contaminación con TPH (Hidrocarburo de Petróleo Total) en el suelo inhibe la germinación de semillas de ambos experimentos de trigo y maíz cuando la concentración de petróleo fue mayor que 0.1%. La CE 50 (concentración efectiva 50%) para la germinación es de 3.04% y 2.86% en el maíz y el trigo, respectivamente. Mientras valores bajos de CE 50 para elongación de la raíz iba a ser 1.11% y 1.64% en el maíz y el trigo, respectivamente, lo que sugiere una mayor sensibilidad de la elongación de la raíz en suelos contaminados con petróleo. El valor de CE 50 en la prueba de bacterias bioluminiscentes fue de 0.47% para petróleo en suelo contaminado. Del resultado experimental, se concluye que el contenido de TPH de 1.5% se considera que es un valor crítico para el crecimiento vegetal y la vida de la lombriz de tierra y 0.5% afectará a la actividad de las bacterias luminiscentes.

En el estudio "Efectos del aceite residual de las fábricas en las propiedades superficiales del suelo, la escorrentía y las pérdidas de suelos en los olivares tradicionales en el sur de España", se han realizado experimentos

de lluvia simulada en suelos con contenidos de hidrocarburos, se encontró que los residuos petroleros de las fábricas han contribuido a aumentar la rugosidad y la interceptación de las gotas de lluvia, lo que retrasa la generación de escorrentía y la mejora de la infiltración de agua de lluvia. El tratamiento con aceite de residuos de las fábricas ha contribuido a una reducción en la generación de escorrentía y del suelo en comparación con las pérdidas de suelo desnudo, especialmente cuando se aplican las hojas de olivo (Lozano-García, Parras-Alcántara, & del Toro Carrillo de Albornoz, 2011).

En el artículo "Metales pesados en un suelo afectado con aceite proveniente de motores de combustión interna" (Acosta et al., 2011), presenta producto de la investigación sobre aceite de motor las siguientes conclusiones:

- Como consecuencia del vertido indiscriminado del aceite usado proveniente de motores de combustión interna en el suelo evaluado, se obtuvieron valores para el contenido total de los metales pesados, que resultaron ser significativamente ($p < 0.05$) más altos en todas las muestras de suelo afectado ($A > B > C$) con respecto al suelo no contaminado (S) o control; verificándose la siguiente para el contenido total de metales: $Pb > Zn > Cu > Cd$ para cada una de las muestras. En A (muestra de suelo más contaminada), el valor obtenido para Pb superó los límites legales establecidos en diferentes países.
- Los valores obtenidos para la CE y el COT en A, B y C también fueron mayores, significativamente, en relación al suelo no contaminado (S), guardando la relación: $A > B > C > S$. El pH, al contrario, resultó menor en las muestras contaminadas y la relación fue inversa. Estadísticamente, el contenido de Pb se correlacionó negativamente con el pH y positivamente con el COT; indicando una supuesta compensación de los efectos de estos parámetros en lo que respecta a la disponibilidad de los metales en el suelo.
- Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las altas concentraciones de estos metales, especialmente de Cd y Pb, en las muestras contaminadas indican riesgos potenciales para: a.- La actividad microbiana del suelo responsable de los procesos de

mineralización de la materia orgánica; afectando la disponibilidad de los nutrientes requeridos para el crecimiento de las plantas. b.- El desarrollo de algunos cultivos debido a la fitotoxicidad por metales limitando las posibilidades de este suelo de ser usado con fines agronómicos, y c.- Las reservas de aguas subterráneas, las cuales (considerando que se trata de un suelo franco arenoso) pueden contaminarse por lavado y percolación de estos contaminantes.

- Por otra parte, debe considerarse el peligro ambiental que supone la falta de control en la disposición final de estos residuos tóxicos, así como el incumplimiento de las normativas establecidas para los establecimientos que los generan. Ante el problema, es evidente la necesidad que existe de elaborar propuestas ecológicas que impliquen mecanismos de remediación para estos suelos degradados; además de procedimientos tecnológicos viables y ambientalmente aceptables para la disposición final, reutilización y/o reciclaje del aceite usado considerado como un residuo peligroso.

La tesis Doctoral "Estudio del funcionamiento de los sistemas de la calidad y el medio ambiente en el sector de la construcción de la comunidad de Madrid" (Rodríguez Jerónimo, 2006) presenta las siguientes conclusiones:

- Las empresas del sector de la construcción no adquieren una postura realmente comprometida con el medio ambiente, ya que no cumplen todos los requisitos que la norma de referencia ISO 14001 establece, no suelen aportar como modelo para implantar su SGMA el Reglamento EMAS pues es más estricto, y destinan pocos recursos a inversiones ambientales que les permitan incorporar a sus procesos nuevas tecnologías menos agresivas con el medio ambiente. De hecho, la implantación de los SGMA en las empresas del sector continúa siendo un mero trámite para obtener y mantener la certificación de este sistema de gestión, y poder así acceder a la licitación de las obras de la mayoría de los promotores de obra civil.
- En las obras, la legislación medioambiental de aplicación no se cumple y el órgano ambiental competente no vigila ni controla su cumplimiento.

Así mismo, los promotores no se implican bastante en el seguimiento del comportamiento medioambiental y de la conformidad reglamentaria de las empresas del sector, en aras de optimizar los recursos y reducir los daños en el medio. Este compromiso de los organismos contratantes debe comenzar asignando a cada proyecto una partida presupuestaria específica para el cumplimiento de la legislación medioambiental y la adopción de medidas de protección medioambiental.

- En las obras no se impone la selección y la recogida selectiva de los residuos para facilitar los procesos de valoración y tratamiento posterior. Tampoco son habituales las prácticas de reutilización y reciclaje para minimizar la generación de residuos.
- Las empresas del sector de la construcción no cumplen sus obligaciones como productores de residuos peligrosos debido a los altos costos de gestión de estos residuos. Además para justificar algunas infracciones aprovechan ciertas imprecisiones de la legislación actual respecto al periodo y condiciones de almacenamiento de estos residuos, así como de las obligaciones y responsabilidades de las empresas colaboradoras.

2.2 MARCO REFERENCIAL.

2.2.1 Contaminación del ambiente.

El término contaminación se refiere a la presencia y acción de los desechos orgánicos e inorgánicos en cantidades tales que el medio ambiente se ve alterado en sus características físicas, químicas o biológicas. La contaminación puede producirse por desechos no degradables o por desechos biodegradables. El contaminante que son residuos, entre ellos los hidrocarburos, sustancias o energía que al incorporarse y/o actuar sobre el ambiente degradan su calidad original a niveles no propios para la salud y el bienestar humano, poniendo en peligro los ecosistemas naturales.

En general el efecto del hidrocarburo sobre el medio ambiente es un tema de discusión, por cualquiera de las siguientes razones (Shigenaka, 2011): (1) el "aceite" no es un solo compuesto, sino más bien, 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, y diferentes etapas de la vida, 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, y (5) hay muchas cosas que no entendemos acerca de los mecanismos de toxicidad, y los distintos componentes de diferentes aceites de conferir sus efectos sobre los organismos.

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. Por tanto “es todo cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, el agua o el suelo que puede afectar de manera adversa la salud, la supervivencia o las actividades de los humanos o de otros seres vivos” (Mena Nieves, 2009). Según esto los principales tipos de contaminación más frecuentes que existen en nuestro medio son:

- Contaminación del agua: Es la alteración de sus características naturales, que la hace total o parcialmente inadecuada para el consumo humano o como soporte de vida para plantas y animales (ríos, lagos, mares, etc.).
- Contaminación del suelo: Es el desequilibrio físico, químico y biológico del suelo que afecta negativamente a las plantas, a los animales y a los seres humanos. Es consecuencia directa del arrojado de residuos domésticos e industriales, aceites usados, agroquímicos, relaves mineros y deforestación.
- Contaminación del aire: Consiste en la presencia en el aire de sustancias que alteran su calidad y afectan a los seres vivos y al medio en general. Sus causas principales son los gases de combustión del motor, emisiones de las fábricas, quema de basura, incendios forestales y erupciones volcánicas.

- Contaminación sonora: Consiste en ruidos molestos que afectan la tranquilidad y salud de todos los seres vivos. Las mayores fuentes de ruido provienen de la actividad industrial, transporte (aviones, camiones, autos) y música a alto volumen.
- Contaminación térmica: Es el constante aumento de la temperatura promedio de la tierra, provocado generalmente por el uso no racional de energía.

Los Hidrocarburos o aceites no se disuelven en el agua, no son biodegradables, forman películas impermeables que impiden el paso del oxígeno y matan la vida tanto en el agua como en tierra, esparcen productos tóxicos que pueden ser ingeridos por los seres humanos de forma directa o indirecta. Uno de los puntos ambientales donde puede producirse una polución muy importante es en el agua, en el mar el tiempo de eliminación del hidrocarburo puede ser de 10 a 15 años y un litro de aceite puede cubrir 1000 m², perturbando gravemente el desarrollo de la vida acuática. El lubricante que se pierde de los mecanismos, el lubricante usado que se elimina a través de desagües y que alcanza las capas freáticas, el vertido de aceites usados en los cursos de aguas deteriora notablemente la calidad de las mismas, al ocasionar una capa superficial que impide la oxigenación de las aguas y produce la muerte de los organismos que las pueblan (Reyes Ortiz, 1997).

En el presente estudio se analiza la contaminación de suelos por derivados de hidrocarburos. Entre ellos tenemos al aceite residual que se libera en entornos terrestres y fluviales, se filtra a través del suelo, y afecta las características de éste, la contaminación por petróleo que afecta grandes extensiones de suelos con consecuencias catastróficas para la agricultura.

2.2.2 Contaminación del suelo.

El suelo es "la fina capa superior de la corteza terrestre (litosfera), situada entre el lecho rocoso y la superficie. Está compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. El suelo es uno de los componentes fundamentales del medio ya que 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 lo confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso" (Sabroso Gonzales & Pastor Eixarch, 2004). Por estas razones es muy importante su conservación para la vida, en vista de que poseen organismos vivos que dan vida a otros organismos, minerales que las absorben las plantas, etc.

El suelo está compuesto de una matriz integrada por cinco componentes principales: (Torres Delgado & Zuluaga Montoya, 2009).

- **Minerales.** Los materiales minerales constituyen los principales componentes estructurales de los suelos y suponen más del 50% del volumen total.
- **Aire-agua.** Conjuntamente constituyen el volumen de poros, por lo general ocupa entre el 25 y 50% del volumen total. La proporción aire-agua varía considerablemente con la humedad del suelo.
- **Organismos vivos.** Ocupan menos del 1% del volumen.
- **Materia orgánica.** Oscilan entre el 3 y 6% del volumen, con valor medio.

El suelo que ha sufrido una modificación de los cinco componentes principales es el suelo contaminado, que es todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los estándares de calidad del suelo. La contaminación del suelo, es la presencia de compuestos químicos hechos por el hombre u otra alteración al ambiente natural del mismo. Esta contaminación generalmente aparece al producirse una ruptura de tanques de almacenamiento subterráneo, aplicación de pesticidas, filtraciones de rellenos sanitarios o de acumulación directa de productos industriales. Los químicos más comunes incluyen hidrocarburos de petróleo, solventes, pesticidas y otros metales pesados. La ocurrencia de este fenómeno está estrechamente relacionada con el grado de industrialización e intensidad del uso de químicos.

Todo tipo de industrias contamina los suelos de los alrededores, tal es el caso de la industria petrolera, las fábricas de aceites, los talleres de mecánica, etc. En algunos casos con consecuencias fatales para la vida del ecosistema. El suelo contaminado con hidrocarburo pone en riesgo la salud del medio ambiente y una de las consecuencias es la contaminación de las fuentes de agua subterránea y superficial. La delimitación de las zonas contaminadas y la resultante limpieza de esta son tareas que consumen mucho tiempo y dinero, requiriendo extensas habilidades de geología, hidrografía, química y modelos a computadora.

2.2.3 Suelos potencialmente contaminados.

Se consideran suelos potencialmente contaminados o sospechosos de contaminación aquellos que cumplen con alguna de las siguientes condiciones: (Sabroso Gonzales & Pastor Eixarch, 2004).

- Sirven de soporte a actividades que comportan la utilización, almacenamiento o producción de sustancias de carácter peligroso susceptibles de contaminar el suelo. Igualmente, aquellos que soportan actividades de almacenamiento y/o de gestión de residuos peligrosos.
- Presentan concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo superiores a 50 mg/Kg.
- Existen evidencias analíticas de que la concentración de alguna de las sustancias tóxicas excede el nivel genérico de referencia correspondiente a su uso, actual o previsible.
- Existen evidencias analíticas de que la concentración de cualquier contaminante químico, no recogidas, para ese suelo es superior al nivel genérico de referencia calculado de acuerdo con unos criterios establecidos.
- La concentración de alguna de las sustancias recogidas excede los niveles genéricos de referencia establecidos en el mismo para el o los grupos de organismos a proteger en cada caso: organismos del suelo, organismos acuáticos y/o vertebrados terrestres.

- Existen evidencias analíticas de que la concentración de cualquier contaminante químico, para ese suelo es superior al nivel genérico de referencia calculado de acuerdo con unos criterios establecidos.
- Se observa toxicidad en los bioensayos con suelo o con lixiviado en muestras no diluidas. (Los bioensayos coinciden con los descritos en el apartado siguiente referido a los suelos contaminados).
- Se detectan riesgos potenciales para la salud del hombre o de los ecosistemas debidos a la presencia de contaminantes físicos o biológicos o a la contaminación de las aguas subterráneas.

Por tanto, un suelo potencialmente contaminado es aquel que está en constante peligro de contaminación por un residuo peligroso, ya sea éste de los productos derivados del petróleo y sus residuos u otros que pueden afectar la vida y salud del medio ambiente.

2.2.4 El aceite residual o hidrocarburo en el suelo.

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). Así los aceites usados son una mezcla muy compleja de los productos más diversos, contiene restos del desgaste del motor, es de color negrozco en comparación al color marrón claro del aceite nuevo.

La denominación aceite residual comprende a los aceites de origen mineral, que durante el uso perdieron sus propiedades características, volviéndose inapropiados para continuar su utilización con el mismo propósito. Comprenden a los aceites lubricantes de motores (de vehículos y máquinas industriales), los fluidos hidráulicos y de transmisión. Después de su uso, el aceite lubricante adquiere concentraciones elevadas de metales pesados producto principalmente del desgaste del motor o maquinaria que lubricó y por contacto con combustibles. La descomposición de los aceites de motor se debe especialmente a una reacción de oxidación. En todos los casos, como consecuencia de su utilización se degradan perdiendo las cualidades que les

hacían operativos y se hace necesaria su sustitución, generándose así un residuo que puede ser variable en cantidad y composición, dependiendo de la procedencia.

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). Esta situación es caótica en las maquinarias pesadas antiguas en donde el aceite residual fluye a través del motor y se derrama en el suelo produciendo contaminación ambiental al mismo.

La composición del aceite residual o usado, presenta las siguientes características o componentes:

- Hollín: es el residuo insoluble de combustible parcialmente quemado que puede espesar el aceite, despojarlo de los aditivos.
- Azufre: está presente en todos los combustibles. Cuando se quema el combustible, el azufre se combina con el agua proveniente de la humedad del sistema formando ácidos.
- El número ácido total (TAN) es una medición de la cantidad total de acidez orgánica débil e inorgánica fuerte presente en el aceite usado, junto con la acidez debida al material residual antidesgaste y antioxidante. El número ácido fuerte (SAN) es una medición de la acidez inorgánica fuerte presente en el aceite drenado. El número básico total (TBN) es una medición de la alcalinidad de reserva presente en el aceite drenado que es capaz de neutralizar cantidades adicionales de ácidos débiles y fuertes.
- Ambos números, TAN y TBN, tienen las mismas unidades de medición, es decir, miligramos de hidróxido de Potasio por gramo de muestra. Las unidades se expresan más simplemente como mg KOH/gr. El TBN protege al motor hasta cuando su número se iguala al del TAN, una vez

rebasado el límite, el desgaste por ataque químico se incrementa en valores relativamente muy altos.

- Oxidación: La oxidación es una reacción química entre el aceite y el oxígeno, que causa espesor del aceite y la pérdida de sus propiedades lubricantes. La oxidación es un proceso mediante el cual el aceite absorbe oxígeno del ambiente, esto no debe confundirse con la aireación, que es aire mezclado con aceite y que produce espuma.
- Agua: El agua se puede condensar o penetrar en el sistema, proviene de fugas de sellos, del proceso de combustión o, del sistema de enfriamiento y reduce las propiedades de lubricación y forma lodo, que taponan los filtros. El agua pasa por las superficies que se corresponden y crea puntos calientes, que cuando están a altas temperaturas, causan mínimas explosiones de vapor, que pueden llegar a producir fracturas en los metales.
- Combustible: La contaminación por combustible se produce por: baja compresión, alta relación de combustible/aire, anillos o camisas desgastados, goteo de bomba de combustible, líneas de combustible con fugas, excesiva marcha en vacío, etc.

Las pruebas de laboratorio para aceites usados presentan las siguientes características que se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro 01

Características del aceite quemado o residual.

Ensayo	Método	Valor
Viscosidad a 100°C cSt	D445	13.8
Contenido Combinado (%vol)	FTIR	0 %
Número neutralización	D664-58	0.75
Color	D1500-85T	Rojo vinotinto
Punto de inflamación	D92-57	95 °C
Punto de combustión	D92-57	120 °C
Metales de desgaste		
Hierro	E.E.U.	9 p.p.m.
Cromo	E.E.U.	3 p.p.m.
Cobre	E.E.U.	1 p.p.m.
Silicio	E.E.U.	7 p.p.m.
Aluminio	E.E.U.	5 p.p.m.
Estaño	E.E.U.	0 p.p.m.

Fuente: (Reyes Ortiz, 1997).

Un lubricante está compuesto por una mezcla de una base mineral o sintética con aditivos (1 - 20%). Durante su uso se contamina con distintas sustancias, tales como:

- Agua.
- Partículas metálicas, ocasionadas por el desgaste de las piezas en movimiento y fricción.
- Compuestos órgano metálicos conteniendo plomo procedente de las gasolinas.
- Ácidos orgánicos o inorgánicos originados por oxidación o del azufre de los combustibles.
- Compuestos de azufre.
- Restos de aditivos: fenoles, compuestos de zinc, cloro y fósforo.
- Compuestos clorados: Disolventes, PCBs y PCTs.
- Hidrocarburos polinucleares aromáticos (PNA).

A continuación se presenta un cuadro de actividades relacionadas a la reparación y mantenimiento de vehículos y los posibles contaminantes.

Cuadro 02

Actividades de mantenimiento y reparación de vehículos a motor.

Actividad	Posibles Contaminantes
Mantenimiento y reparación de vehículos a motor.	Disolventes. Hidrocarburos totales. Hidrocarburos aromáticos monocíclicos (ej. Tolueno, xileno, White, spirit).
Mantenimiento y reparación de motocicletas y ciclomotores y de sus repuestos y accesorios.	Fenol. Clorofluorocarbonos. Metales (ej. cobre, cromo, plomo, etc.). Álcalis.
Venta al por menor de carburantes para la automoción.	Ácidos (ej. Sulfúrico, fosfórico). Hidrocarburos totales. Hidrocarburos aromáticos (ej. Benceno, fenoles). Cianuros.

Fuente: (Sabroso Gonzales & Pastor Eixarch, 2004).

Estos componentes del aceite residual cuando son derramados al medio ambiente contaminan y alteran características del suelo, entre las más afectadas por estos derrames tenemos: (Semarnap, 1996).

- La estructura del suelo debido a la ruptura de los agregados
- Aumento de la retención del agua en la capa superficial.
- El potencial hídrico.

Probablemente el componente más importante del suelo en relación con la persistencia de sustancias tóxicas es la arcilla. La persistencia aumenta cuanto más pequeña son las partículas debido a que aportan una gran área superficial para la absorción de los productos químicos.

Las propiedades químicas del suelo más afectadas por un derrame de hidrocarburos o sus derivados, por los componentes químicos que estos presentan son:

- Aumento del carbono orgánico ya que el 75% del carbono del petróleo crudo es oxidable.
- Disminución del pH, debido a la acumulación del carbono orgánico y generación de ácidos orgánicos.
- Aumento del manganeso y hierro intercambiable.
- Aumento del fósforo disponible.

Los efectos tóxicos de los hidrocarburos en el ambiente dependerán de:

- La cantidad y composición del petróleo.
- La frecuencia y tiempo de exposición.
- El estado físico del derrame.
- Las características del sitio donde sucedió el derrame.
- Variables ambientales como temperatura, humedad y oxígeno.
- El uso de dispersantes químicos (está restringido su uso).
- La sensibilidad de la biota específica del ecosistema impactado.

De lo analizado anteriormente, si bien es cierto que el hidrocarburo representado para este caso por el aceite residual de motor, en general, reduce las propiedades físico mecánicas de los suelos; pero se puede utilizar óptimamente en la estabilización de suelos para carreteras en un rango apropiado, en vista de que el suelo se vuelve inerte perdiendo materia

orgánica, hay un mayor efecto de compactabilidad, aumento de la rugosidad y disminución de la permeabilidad.

El comportamiento de los contaminantes orgánicos del suelo está en función de sus características físicas y químicas (densidad, solubilidad, polaridad, entre otras), además de las características del medio como son la unidad de suelo, permeabilidad, estructura, tamaño de las partículas, contenido de humedad y de materia orgánica, así como la profundidad del manto freático. Factores climatológicos como la temperatura y la precipitación pluvial también tienen una gran influencia. Todas las variables en su conjunto definen el tamaño y la distribución tridimensional del frente de contaminación en una zona específica. El cuadro 03 muestra alguna de estas características químicas.

Cuadro 03

Parámetros del compuesto químico, suelo y ambiente que influyen en el transporte a través del suelo.

Parámetros del Contaminante	Parámetros del Suelo	Parámetros Ambientales
Solubilidad.	Contenido y retención de agua.	Temperatura.
Presión de vapor.	Porosidad, densidad y permeabilidad.	Precipitación.
Número y tipo de grupos funcionales.	Contenido de arcilla. Contenido de materia orgánica.	Evapotranspiración.
Polaridad	Profundidad de agua subterránea.	

Fuente: (Jury, 1989).

2.2.5 Indicadores para evaluar la calidad de suelos.

La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo. El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo para fines agrícolas. La calidad ambiental son las características cualitativas y cuantitativas de alguno factor ambiental o del ambiente en general y que son susceptibles de ser modificados con la presencia de la contaminación ambiental ocasionadas por los residuos sólidos.

La normativa peruana presenta los Estándares de Calidad Ambiental para suelo referido a compuestos químicos (orgánicos e Inorgánicos), mas no se refiere a las propiedades físicas. El siguiente cuadro muestra indicadores físicos, químicos y biológicos más comunes para evaluar suelos contaminados.

Cuadro 04
Indicadores medioambientales para evaluar la calidad de suelos contaminados.

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Físicas		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo.	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje.
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión.	Cm ó m.
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad.	Minutos/2.5 cm de agua y g/cm ³
Capacidad de retención del agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica.	% (cm ³ /cm ³), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación.
Químicas		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión.	Kg de C o N ha ⁻¹
PH	Define la actividad química y Biológica.	Comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y Microbiana.	dSm ⁻¹ ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental.	Kg ha ⁻¹ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos
Biológicas		
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica. Kg de N o C ha ⁻¹ relativo al C y N total o CO ₂ producidos	
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Kg de N ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo al contenido de C y N total

Fuente: (Cruz, Barra, Castillo, & Gutiérrez, 2004).

Además de estos indicadores mostrados, existen otros que complementan a los biológicos y se pueden utilizar para evaluar suelos contaminados. Los indicadores que diferencian perfectamente el alcance de la remediación de suelo son biomasa-C, la respiración, la actividad deshidrogenasa, la toxicidad de las lombrices de tierra y germinación de la semilla de mostaza. Aunque tenían diferentes puntos finales, una vez que los indicadores biológicos sensibles y fuertes estaban incorporados en un índice cuantitativo de calidad de suelo, le dieron una representación más clara de la salud ecológica que los datos químicos solamente por su integración de efectos de contaminación a varios niveles tróficos (Dawson et al., 2007).

El mejoramiento de la calidad de un suelo se percibe, en general, por incrementos y decrementos en el valor de algunas características. Por ejemplo, puede incrementarse la tasa de infiltración o de aireación, debido a un aumento de la cantidad de macroporos, a un mayor tamaño y estabilidad de los agregados y una mayor cantidad de materia orgánica. Pero pudiesen reducirse la densidad aparente, la resistencia a la labranza, el crecimiento radical, la tasa de erosión y la pérdida de nutrimentos. Una mejor evaluación se lograría si, además de los cambios señalados, se incluyesen otros indicadores potenciales de índole ecológico-biológico; por ejemplos, el grado de diversidad genética (tanto del cultivo como de las especies de microorganismos, insectos y animales benéficos), el rendimiento de los cultivos (en grano o biomasa total), 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 irreversibles, o casi irreversibles, relacionados con las características más estables del suelo, o que cambian lentamente, 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). En contraste, otros cambios son rápidos, la mayoría reversibles, y tienen que ver con la características inestables de los suelos como la temperatura, el contenido de humedad, la composición del aire del suelo, la concentración de nitratos y fósforos, etc. El cuadro anterior presenta indicadores más usuales

para evaluar la calidad de los suelos contaminados, las que están en función a las propiedades físicas, químicas y biológicas que presentan los suelos.

Por otro lado, medidores de indicadores como los isópodos y lombrices de tierra fueron capaces de percibir la presencia de compuestos tóxicos y escaparon de la contaminación para limpiar el suelo. Además, el parámetro de comportamiento fue igual o más sensibles a otros parámetros subletales (por ejemplo, la reproducción o el crecimiento), que expresan las ventajas de las pruebas de comportamiento de evitación como herramientas de cribado (Loureiro, Soares, & Nogueira, 2005). Por lo tanto la lombriz de tierra se puede considerar como un organismo básico para medir la calidad del suelo contaminado por hidrocarburos.

2.2.6 Factores físico mecánicos del suelo.

El análisis de un problema de contaminación de suelo depende de la información ganada en el campo y en el laboratorio y alimenta el riesgo de los modelos de análisis de una clase u otra para determinar la necesidad, si la hay y a escalas de tiempo para remediar y tomar acciones correctivas (Loxham, 1997). Las principales propiedades ingenieriles de relevancia del problema de suelos contaminados pueden ser tratadas bajo los principales grupos: (a) aquellos que tratan con procesos de transporte contaminados, por ejemplo, permeabilidad, porosidad, densidad, estructura del suelo y grado de saturación; y (b) aquellos que tratan con el esfuerzo y compactación de suelos, es decir, aquellas propiedades físicas mecánicas pertinentes al establecimiento de la estabilidad de suelos usando materiales como barreras de ingeniería y aquellas propiedades involucradas en el método de remediación de sitios contaminados "excavar y verter" (Yong, 2001). Los resultados de estas propiedades 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.

En la naturaleza los suelos se muestran en un sistema de tres fases, que consisten en partículas de suelo sólidas, agua y aire (o gas), en función a estas fases se presenta los factores o propiedades físicas del suelo, llamado también por algunos autores propiedades índice, los cuales son:

- **Peso específico aparente:** "Es la relación entre el peso de la muestra (sólidos mas 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. Para ello, la muestra seleccionada del agregado grueso retenido en la malla de 3/8" se sumerge en agua durante 24 horas. Al final de este tiempo deberá extraerse el material del agua y proceder a su secado superficial, mediante un lienzo absorbente. En estas condiciones de saturación se determina el peso de la muestra, se pone luego a secar la muestra hasta peso constante y se calcula la absorción" (Crespo Villalaz, 2011).
- **Porosidad:** "Es la relación entre el volumen de huecos y el volumen total del elemento considerado, o sea su volumen aparente y el índice de huecos o de poros, es la relación entre el volumen de huecos y el volumen de sólidos" (Gonzales de Vallejo, 2002).
- **Grado de saturación:** "Se denomina grado de saturación a la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos de un suelo (Rico Rodriguez & Del Castillo, 2001).
- **Contenido de humedad:** "Se conoce como contenido de agua o humedad de un suelo a la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida" (Rico Rodriguez & Del Castillo, 2001).
- **Compacidad relativa:** "La 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:** “La relación aire-vacíos es la relación del volumen aire-vacíos al volumen específico del suelo” (Whitlow, 1998).
- **Índice de plasticidad:** “La plasticidad de los suelos de grano fino tiene un efecto importante en propiedades e ingeniería, como la resistencia al corte y la compresibilidad, se usa la consistencia plástica como base para su clasificación” (Whitlow, 1998). El índice de plasticidad es la diferencia entre el Límite Líquido, que es el contenido de humedad por el cual el suelo deja de ser líquido y pasa a plástico, y el Límite Plástico, que es el contenido de humedad por el cual el suelo deja de ser plástico y se convierte en un sólido semiplástico.
- **Permeabilidad:** La permeabilidad de los suelos es la capacidad que tiene 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.

Los factores mecánicos del suelo están referidos a la resistencia que éste ofrece frente a cargas externas, los cuales son:

- **Resistencia cortante del suelo:** “La resistencia cortante de una masa de 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). En el caso de suelo se analiza el criterio lineal Mohr Coulomb que está en función a los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, los cuales son la cohesión y el ángulo de fricción interna, determinados mediante pruebas de corte directo o triaxiales.
- **Resistencia a compresión simple:** La 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. Manteniendo constante la relación de vacíos de un espécimen de suelo, la resistencia a compresión simple disminuye rápidamente con el grado de saturación.

2.2.7 Efecto del hidrocarburo o aceite residual en los factores físico mecánicos del suelo.

El hidrocarburo en sus distintas variantes contiene tóxicos que al ser vertidos al suelo reduce sus características físicas, químicas y biológicas, no es apto para la agricultura ni para la presencia de microorganismos vivos en el suelo. Como se ha indicado el componente más importante del suelo en relación con la persistencia de sustancias tóxicas es la arcilla cuyo tamaño menor a 0.075mm, aporta una gran área superficial para la absorción de los productos derivados del hidrocarburo. Una de las variantes del hidrocarburo es el aceite residual provenientes del motor de vehículos.

El hidrocarburo, por su carácter lipofílico se puede bioacumular y concentrar en sedimentos y suelos en una extensión que dependerá de su persistencia en cada medio. Está comprobado que la toxicidad aumenta al aumentar el peso molecular y el carácter lipofílico del compuesto, por lo que se puede modificar las características del suelo.

El efecto que presenta el aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicos del suelo como, densidad, humedad, plasticidad, permeabilidad, compresión simple, es negativa, reduce estos indicadores. Los resultados del estudio "Efecto de la contaminación del crudo de petróleo en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos y arenosos" indicaron una disminución en la resistencia, permeabilidad, densidad seca máxima, contenido de agua óptimo y límites de Atterberg (Khomehchiyan et al., 2007).

En el estudio "Influencia de la contaminación por aceite en las propiedades geotécnicas del suelo residual basáltico", los resultados mostraron que la adición de aceite tiene efectos adversos a las propiedades geotécnicas del suelo residual estudiado (Rahman et al., 2010). En los suelos contaminados con aceite hay una disminución en los límites líquido y plástico, una baja en la densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad, también se observa una reducción en la permeabilidad y C_u era claramente afectado por el aumento en el contenido de aceite en suelos contaminados.

Realizando algunas comparaciones con otros contaminantes, en algunos estudios se afirma que los fluidos de perforación tuvieron un impacto más fuerte sobre las propiedades químicas del estudio del suelo, mientras que la densidad y rendimiento fueron más fuertemente afectada por crudo de petróleo (Kisic et al., 2009). Estos aspectos últimos corresponden a las características físicas del suelo.

Con respecto al efecto sobre los microorganismos presentes en el suelo, se encontró que los Hidrocarburos inhiben la biomasa microbiana, el mayor efecto negativo se observa en los suelos arenosos por la contaminación con gasolina. En ambos suelos la contaminación por petróleo crudo y aceite diesel aumentó la respiración microbiana, mientras que la gasolina tenía poco efecto sobre este parámetro, especialmente en el suelo arenoso. En general, la gasolina tuvo el mayor efecto inhibitorio sobre las actividades hidrolasa involucrados en ciclos de N, P o de C en ambos suelos. Todos los contaminantes inhiben las actividades hidrolasa en el suelo arenoso, mientras en el suelo arcilloso el aceite diesel estimuló la actividad enzimática, particularmente en la concentración más alta. En ambos suelos, un efecto fitotóxico sobre la germinación de semillas cebada y césped se observó en los suelos contaminados, particularmente en aquellos contaminados con diesel o petróleo (Labud, Garcia, & Hernandez, 2007). El contenido de materia orgánica, la densidad aparente y la porosidad se incrementa, lo que confirmó las interacciones de estas propiedades.

La parte más ventajosa y aplicativa del estudio son 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", cuyo ámbito de estudio fue el desierto de Kuwait, se encuentra que la arena contaminada con aceite fue utilizada para mezclas de concreto asfáltico en el laboratorio para determinar la factibilidad de usar arena contaminada con petróleo como suministro a ser abastecido en la producción de materiales de construcción asfáltica. Los productos desarrollados en pruebas experimentales reúnen estándares internacionales. 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 facilidades de contención, o estabilización de terraplenes excesivos (Al-Mutairi & Eid, 1997). También se indica que los gases emitidos durante la producción del concreto asfáltico utilizando arena contaminada con petróleo son considerados ambientalmente aceptables; pero que a criterio deben ser usados en pequeñas cantidades a efecto de estar dentro de los límites permisibles que especifica la norma para estos contaminantes.

En el estudio de caso "Estabilización de suelos contaminados con petróleo", se presenta que la contaminación con petróleo trae efectos adversos en las propiedades geotécnicas básicas del suelo de fundación. La muestra de suelo contaminado con petróleo exhibe drásticos cambios en sus parámetros geotécnicos. Digno de mención entre los cambios son: decremento en la máxima densidad seca (-4%), cohesión (-66%), ángulo de fricción interna (-23%) y esfuerzo de compresión inconfinaada (-35%) e incremento en el límite líquido (+11%). Un intento ha sido hecho para estabilizar el suelo contaminado usando varios aditivos, cal, ceniza volante y cemento independientemente así como mezcla de diferentes combinaciones. Es evidente desde los resultados que los agentes estabilizadores mejoran las propiedades geotécnicas del suelo por formas de intercambio catiónico, aglomeración y acción puzolánica. El mejor resultado fue observado cuando la combinación de 10% de cal, 5% de ceniza volante y 5% de cemento fue adicionado al suelo contaminado. La mejora en el esfuerzo de compresión inconfinaada, cohesión y ángulo de fricción interna puede ser atribuido a neoformaciones así como Silicato Cálcico Hidratado (CSH, CSH-1) que abrigan y unen las partículas de suelo. La formación del complejo estable entre el aceite y los cationes metálicos, resultan en reducción del aceite (Shah, Shroff, Patel, Tiwari, & Ramakrishnan, 2003).

En una investigación realizada sobre "uso de aceite quemado para mejorar bases y subbases granulares" se indica que con los resultados obtenidos en los ensayos proctor estándar, proctor modificado y C.B.R. de laboratorio, se pudo concluir la viabilidad del empleo de aceite quemado para mejorar la resistencia mecánica y densidad máxima de algunas bases y subbases granulares. Se utilizaron las curvas granulométricas A,B,C y D para

bases y las curvas granulométricas A,B y C para subbases, de acuerdo con las especificaciones dadas. Las conclusiones establecidas con base en la muestra patrón (Humedad óptima con 100% de agua) fueron: El mayor incremento de la densidad máxima en el ensayo proctor estándar es 6%, en la subbase C y con una combinación de 75% de agua y 25% de aceite. Los incrementos de densidad máxima para el ensayo de proctor estándar oscilan entre 1.25% y 6.0% y entre 0.5% y 8.25% para el ensayo de proctor modificado. 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. Para la resistencia mecánica calculada con el ensayo de C.B.R. de laboratorio, la subbase tipo A, en las diferentes combinaciones de agua con aceite, siempre presentó un descenso en su resistencia, las cuales llegaron hasta un 23% con respecto a la muestra patrón (Reyes Ortiz, 1997).

2.2.8 Tratamiento de suelos contaminados por aceite residual o hidrocarburos.

Muchos temas de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos se han tratado al respecto, pero su utilización en la estabilización de suelos en carreteras puede ser beneficiosa a las obras de ingeniería civil, debido a que el suelo, con la presencia del hidrocarburo se vuelve inerte. Al respecto se trata entonces de analizar el efecto del hidrocarburo o aceite residual en las características físico mecánicas de los suelos, sobre todo finos.

El aceite residual influye negativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas. Si estos suelos son contaminados con los productos del petróleo y de la refinería, penetran en el suelo y causan la degradación, (Sztompka, 1999) no siendo adecuado para usos agrícolas, debiendo ser biorremediadas mediante proceso de calentamiento, fertilizante comercial oleófilo, inclusión de bacterias, etc.

El tratamiento de suelos para mejorar su calidad ante la contaminación se puede realizar por diversos métodos, una de ellas es la bioremediación de suelos contaminados que involucra el uso de microorganismos y/o vegetales

para la degradación de los contaminantes orgánicos. La actividad biológica altera la estructura molecular del contaminante y el grado de alteración determina si se ha producido biotransformación o mineralización. A continuación se presentan algunas técnicas de bioremediación de suelos contaminados con los productos de los hidrocarburos.

La biotransformación es la descomposición de un compuesto orgánico en otro similar no contaminante o menos tóxico, la mineralización es la descomposición a dióxido de carbono, agua y compuestos celulares. Los procesos biológicos se aplican frecuentemente al tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Se pueden aplicar técnicas in-situ (en el lugar donde se encuentra el suelo contaminado) o ex-situ (cuando el suelo se traslada a una instalación para su tratamiento). Según análisis realizados sobre bioremediación de suelos altamente contaminados por hidrocarburos, en el estudio "Biorremediación de suelos contaminados con aceite usado de automóvil con el hongo de la pudrición blanca *Pleurotus Ostreatus* SETAS en Durango, se sustenta que, a medida que transcurre el tiempo después de un derrame, se va modificando la composición del hidrocarburo por acción de los agentes ambientales. Primero se pierden los hidrocarburos volátiles y después se produce la eliminación de parafinas, ya sea por evaporación, por actividad fotoquímica o actividad biológica, luego se eliminan otros componentes. Como resultado de ello el contaminante se enriquece en compuestos pesados, difíciles de degradar, por lo que la velocidad de reacción disminuye a medida que transcurre el tiempo (Rosales Morales, 2008). En el caso del aceite residual de los vehículos motorizados, estos lubricantes residuales tienen metales pesados producto del desgaste del motor, lo cual difícilmente degrada.

En el estudio "Efectos de la temperatura y nutrientes en la degradación de hidrocarburos de petróleo en suelos contaminados del sub Antártico" (Coulon, Pelletier, Gourhant, & Delille, 2005), se explica que los suelos han respondido positivamente al aumento de la temperatura de 4 °C a 20 °C, y a la adición de un fertilizante comercial oleófilo que contiene N y P. Ambos factores incrementaron la abundancia microbiana el hidrocarburo degradante y la degradación de hidrocarburos totales de petróleo (TPH). En general, los

alcanos fueron más rápidamente degradados que los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Después de 180 días, las pérdidas totales de alcano de ambos aceites han alcanzado 77 - 95%, mientras que el PAHs total nunca superó el 80% en condiciones óptimas a 10 °C con fertilizante añadido. Por lo tanto, la biorremediación de hidrocarburos contaminados del suelo subantártico parece ser factible, y diversas estrategias de ingeniería, tales como la calefacción o modificación del suelo puede acelerar la degradación de hidrocarburos. Sin embargo, el residuo toxico del suelo contaminado se mantuvo drásticamente alta antes que la limpieza deseada se complete y puede representar un factor limitante en la biorremediación del suelo subantártico.

Un estudio similar indica que en la bioremediación de medio y alto peso molecular del petróleo degradado de hidrocarburos (HC) en el Alto Ártico, el clima del desierto polar, las características de los contaminantes y las limitaciones logísticas pueden hacer bioremediación del HC persistente en el Alto Ártico desafiante, así como la aplicación de tensioactivos y fertilizantes, y el calentamiento pasivo utilizando un invernadero. Los resultados sugieren que la temperatura y el bajo contenido de humedad afectan la biodegradación de HC en el campo (Sanscartier, Laing, Reimer, & Zeeb, 2009).

En un estudio sobre Tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburo de petróleo utilizando la oxidación del peróxido de hidrógeno catalizada por oxígeno básico de residuos de escoria de hornos, se indica que la contaminación del subsuelo con hidrocarburos de petróleo es un problema medioambiental generalizado. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de la aplicación de residuos de escoria de horno básico de oxígeno (BOF escoria) como el catalizador para intensificar la oxidación de Fenton para remediar suelos contaminados con aceite o combustible diesel. Los resultados demuestran que Fenton como la oxidación catalizada por BOF escoria es un método potencial para ser capaz de remediar suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo de manera eficiente y eficaz (Tsai & Kao, 2009).

Otro método de tratamiento de suelos es la electroremediación, esta técnica, principalmente usada para la extracción de metales pesados, aplica la

corriente eléctrica para promover el movimiento de los contaminantes. Hoy día la aplicación de esta técnica sola o combinada con otras técnicas, como por ejemplo el Fenton o la bioremediación está tomando resultados finos para la eliminación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Aunque la descontaminación de suelos por HAPs por medio del campo eléctrico está en una fase inicial, muchos investigadores han demostrado la efectividad del tratamiento (Pazos, Rosales, Alcántara, Gómez, & Sanromán, 2010).

El método de la fitorremediación 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). Otras especies contribuyen a la disminución de la migración de contaminantes en aguas subterráneas; así las plantas son utilizadas como un "sistema de bombeo" de agua contaminada mediante el proceso de transpiración (fitobombeo). Una alternativa para la remediación de suelos contaminados con metales pesados es el uso de plantas cuyos exudados radicales contribuyen a la precipitación de los metales y por consiguiente, reducen su biodisponibilidad quedando estabilizados en la matriz del suelo (fitoestabilización). Algunas plantas poseen la característica de liberar enzimas específicas o cofactores enzimáticos que propician que un contaminante orgánico recalcitrante sea transformado o degradado (fitotransformación y fitodegradación) (Ferrera-Cerrato, Rojas-Avelizapa, Poggi-Varaldo, Alarcón, & Cañizares-Villanueva, 2006). Cuando las plantas poseen el mecanismo para convertir un contaminante del suelo o agua a una forma elemental volátil menos tóxica, como lo es el caso de selenio (Se) o mercurio (Hg), ocurre un proceso de volatilización, el cual es asistido por algunos microorganismos. En el estudio sobre remediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) del aceite crudo (Edema, Idu, & Edema, 2011), se indica que los champiñones y las plantas cowpeas vienen a ser un método de fitorremediación muy adecuado para la descontaminación de suelos, en tercer lugar considera a la calefacción, algas y verdura seca con el gusano de tierra mostró la menor reducción.

En el estudio “Efecto del envejecimiento de hidrocarburos de petróleo en suelos en condiciones diferentes de atenuación”, se encontró una correlación negativa significativa entre la cantidad de bacterias y el contenido de hidrocarburo de petróleo total (TPH) durante el proceso de envejecimiento el número de hongos se incrementó sólo en un momento determinado del envejecimiento. (Tang, Lu, Sun, & Zhu, 2012). Muchos de los componentes químicos del hidrocarburo pueden perder sus propiedades como tal, debido al envejecimiento del petróleo en un proceso de tratamiento con bacterias y hongos.

2.2.9 Gestión de residuos de los aceites usados.

La diferencia entre desecho y residuo consiste en que los desechos son subproductos residuales, que quedan o sobran, proveniente de procesos naturales o actividades sociales, entre ellos figuran los desechos orgánicos, resultantes naturales y directos de plantas, animales o seres humanos, y los desechos provenientes de actividades sociales (domésticos e industriales). Los residuos son cualquier material orgánico e inorgánico en una gran variedad de materiales sólidos o líquidos, que se tiran o rechazan por estar desgastados, ser inútiles, sin valor, o estar en exceso. Normalmente no se incluyen residuos sólidos de instalaciones de tratamiento.

La gestión de residuos está ligada al reciclaje que es el proceso de recuperación de desperdicios, residuos o desechos de todo género, para ser usados en el procesamiento o fabricación de nuevos productos. Esta actividad tiene gran importancia en el cuidado del ambiente y representa una posibilidad interesante de reutilización de materiales, con la consiguiente repercusión en los procesos económicos.

La gestión de los aceites usados se encuentra fuertemente intervenida en todos los países industrializados. Inicialmente, ya desde los años treinta, la regulación del sector respondía a razones económicas y estratégicas relacionadas con la dependencia del petróleo. Posteriormente, la regulación atiende, sobre todo, a los requerimientos ambientales derivados de su carácter de residuo peligroso. En cualquier caso, la recogida ordenada de los aceites

usados es la condición necesaria para alcanzar una gestión adecuada del residuo. La mayor parte de los países desarrollados han adoptado otras medidas para asegurar la gestión óptima posterior del residuo recuperado.

Las políticas de gestión de los aceites usados aplicadas en los países industrializados vienen caracterizadas por la diversidad. En general, estas políticas han ido dirigidas, por una parte, a incentivar la oferta de aceites usados favoreciendo su recogida (por ejemplo, mediante la obligación de los vendedores de lubricantes de proporcionar a sus clientes facilidades para el cambio del aceite, el establecimiento de puntos de recogida o la concesión de subvenciones a los recogedores). Por otra parte, también se ha estimulado la demanda mediante incentivos económicos al procesamiento de los aceites o mediante actuaciones sobre la demanda final de los productos obtenidos (por ejemplo, con la demanda directa por parte de las Administraciones Públicas, la educación y sensibilización ciudadana o la imposición de un contenido mínimo de bases regeneradas en los nuevos aceites puestos en el mercado). Otras políticas tienen por objeto la reorientación de la demanda hacia los usos más adecuados ambientalmente estableciendo, por ejemplo, una regulación más estricta sobre la combustión de los aceites (Arner et al., 2006).

2.2.10 Síntesis del marco referencial.

La investigación "Efecto de la contaminación del aceite de motor en las propiedades geotécnicas de la arcilla sobreconsolidada", realizada en Egipto presenta un análisis del efecto de este insumo en las propiedades geotécnicas de la arcilla respecto al tiempo; dichas propiedades 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 existe decremento.

El estudio "Influencia de la contaminación por aceite en las propiedades geotécnicas del suelo residual basáltico" realizado en Malasia que presenta la

influencia del aceite en propiedades geotécnicas del suelo 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) comparando sus resultados. Los resultados mostraron que la adición de aceite tiene efectos adversos a las propiedades geotécnicas.

El estudio "Efecto de la contaminación del crudo de petróleo en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos y arenosos" realizado en Irán, presenta pruebas y resultados de laboratorio de suelo mezclado con petróleo, los cuales son: límites de Atterberg, compactación, corte directo (cohesión y fricción), compresión uniaxial y permeabilidad. Este estudio indica que 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.

Otros estudios están referidos al análisis de otros insumos que contaminan el suelo como los compuestos químicos y biológicos que afectan las propiedades superficiales del suelo, escorrentía, textura, pérdidas de suelo desnudo, germinación de las semillas, etc. las mismas que se pueden agrupar en los campos físicos, químicos y biológicos. En este estudio se analiza algunas de las propiedades físicas del suelo mezclado con aceite.

La normativa peruana enfatiza el uso estándares de calidad ambiental para el suelo solo en el factor químico como son los orgánicos e inorgánicos, mas no se refiere a los factores físicos y biológicos del suelo.

Las teorías enfatizan el análisis sobre la contaminación del suelo, aire, agua por distintos factores y actividades humanas de forma general, pero no realizan el análisis a profundidad sobre los factores físico, químico y biológicos a ser modificados ni mucho menos le dan cierta aplicabilidad a sus investigaciones realizadas.

Por otro lado gran parte de estudios realizados a la fecha en otras latitudes son en base a la contaminación de suelos con petróleo o productos derivados de él, mas no así está ampliamente estudiado la mezcla de suelo con aceite residual de vehículos de motor y sus aplicaciones ingenieriles. Todas estas investigaciones mencionadas no dan alcances aplicativos sobre el efecto del aceite en los suelos. Concretamente en el presente estudio nos referimos al análisis del mejoramiento o estabilización de suelos, que como parte aplicativa se presenta en la conformación de terraplenes para obras civiles, las mismas que son mencionadas como otros productos diversos en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones aprobada por Resolución Directoral Nro. 05-2013-MTC.

Por tanto el aporte principal de la investigación para la región de Puno, es determinar el efecto que produce el aceite residual en las propiedades físico mecánicas del suelo como el límite líquido, límite plástico, densidad seca máxima, contenido de humedad óptimo, permeabilidad, esfuerzo de compresión simple y resistencia cortante del suelo con los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna, las mismas que se aplican para el análisis de la estabilización de suelos que como parte aplicativa se tiene el objetivo de determinar el porcentaje de uso óptimo en la estabilización de suelos para la conformación de terraplenes, subrasantes, sub bases y bases de carreteras y otros aspectos como la impermeabilización de muros, construcciones de presas y balsas de tierra.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO.

El estudio realizado se ubica en la Región Puno - Provincia de Puno. Los suelos que presenta son de distinta naturaleza, gravas, arenas, arcillas, limos y turbas con sus distintas combinaciones; concretamente el estudio está referido a suelos finos del tipo arcilloso de baja plasticidad (CL), los cuales se presenta en algunas zonas agrícolas y donde se ubican campamentos de las maquinarias pesadas, de procesamiento de áridos, así como también en los talleres de mantenimiento y reparación de vehículos.

El lugar denominado Patallani se localiza en la Provincia de Puno, a una altitud de 3819 msnm latitud sur 15° 46' 16.7" longitud oeste 70° 2' 19.1" ubicado en el Km 1347 a un costado de la carretera Puno-Juliaca. La precipitación promedio anual es menor de 700mm, temperatura variable con oscilaciones entre una temperatura promedio máxima de 22°C y una mínima de 1.4°C. El lugar presenta zonas agrícolas y de pastoreo en el que se encontraba una planta de procesamiento de áridos para pavimentos asfálticos, perteneciente al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en las cuales se tenía maquinaria pesada como una chancadora, cargador frontal, volquetes y otras maquinarias de menor categoría. Actualmente el lugar se encuentra abandonado, pero al lado se ha habilitado un espacio de manejo y conducción

de vehículos, los cuales también traerán problemas de contaminación por hidrocarburos a largo plazo.

De este lugar fueron extraídas las muestras de suelo para ser estudiadas en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.

La población de la investigación está constituida por los suelos agrícolas propensos a contaminación por aceite residual, concretamente los suelos en los cuales se sitúan los campamentos carreteros y los talleres de mantenimiento.

La muestra de estudio son los suelos finos de baja plasticidad, el cual se obtuvo del lugar Patallani, para el cual las calicatas ejecutadas para la extracción de las muestras de suelo se determinó a criterio del investigador. Se tomó en cuenta 04 calicatas a una profundidad de 1.1 m, los cuales correspondientes a un suelo homogéneo, el cual a partir de los índices de plasticidad y la granulometría se clasificó como arcilla de baja plasticidad CL. Las muestras de suelo extraídas han sido preparadas teniendo en consideración la NTP y la ASTM. Estas muestras extraídas de las calicatas han sido secadas al sol, previo al mezclado con aceite.

3.3 MÉTODO.

La metodología seguida para la presente investigación se presenta según objetivos específicos de la investigación, los cuales están referidas a las características iniciales del suelo en estudio y el efecto del hidrocarburo en los factores físico mecánicos del suelo.

3.3.1 Para establecer las características iniciales que presenta el suelo de estudio en el año 2013.

- Se presenta un estudio de alcance descriptivo para identificar las características granulométricas y de plasticidad del suelo.

- El material utilizado fue el suelo arcilloso de baja plasticidad.
- Los instrumentos utilizados fueron los equipos de laboratorio como: Juego de tamices, cuchara de casagrande y ranurador, vidrio esmerilado, balanza, horno.
- Los indicadores son granulometría, plasticidad y tipo de suelo, para el cual se tiene la ficha de observación de recolecta de datos en cada ensayo.

3.3.2 Para determinar el efecto que presenta el incremento del aceite residual en los factores físicos del suelo.

- Se presenta un estudio de alcance correlacional entre el incremento del aceite residual y los factores físicos del suelo. El estadígrafo utilizado es el coeficiente de correlación de Pearson
- Los materiales utilizados fueron el suelo y aceite residual. El aceite en la mezcla de suelo se introdujo en proporciones de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% del peso seco de la muestra.
- Los instrumentos utilizados fueron los equipos de laboratorio como: Cuchara de casagrande, vidrio esmerilado, equipo proctor, pisón, permeámetro de carga variable (ensamblado en laboratorio), balanza, horno.
- Los factores físicos del suelo se presentan en indicadores como el límite líquido (w%), límite plástico (w%), densidad seca máxima (g/cm^3), contenido de humedad óptimo (w%) y permeabilidad (cm/s), para el cual se tiene la ficha de observación de recolecta de datos en cada ensayo.

3.3.3 Para determinar el efecto que presenta el incremento del aceite residual en los factores mecánicos del suelo.

- Se presenta un estudio de alcance correlacional entre el incremento del aceite residual y los factores mecánicos del suelo. El estadígrafo utilizado es el coeficiente de correlación de Pearson
- Los materiales utilizados fueron el suelo y aceite residual. El aceite en la mezcla de suelo se introdujo en proporciones de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% del peso seco de la muestra.

- Los instrumentos utilizados fueron los equipos de laboratorio como: equipo triaxial y equipo de compresión uniaxial.
- Los factores mecánicos del suelo se presentan en indicadores como la cohesión (kg/cm^2), el ángulo de fricción interna ($^\circ$) y la resistencia a compresión confinada (kg/cm^2), para el cual se tiene la ficha de observación de recolecta de datos en cada ensayo.

3.4 PROCEDIMIENTO DEL ESTUDIO.

- Salida de campo. Reconocimiento del lugar de estudio para la extracción de muestras.
- Toma de muestras. A una profundidad de 1.1 m, encontrándose material no alterado en esta zona, siendo variable esta profundidad debido a que en algunas zonas se presenta material rocoso a poca profundidad.
- Preparación de las muestras. Las muestras una vez secadas al sol han sido mezclados con el aceite, en las proporciones indicadas anteriormente y luego de ello han sido curadas, antes de la preparación para los ensayos.
- Para el caso de las condiciones iniciales del suelo, las muestras no han sido mezcladas con el aceite residual.
- Las muestras mezcladas con aceite han sido preparadas de acuerdo a las características de cada ensayo.
- Determinación de las propiedades físicas en laboratorio. Las propiedades físicas determinadas en laboratorio fueron: Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, densidad seca máxima, contenido de humedad óptimo y permeabilidad. Para el ensayo de permeabilidad se han tomado de referencia los datos de densidad seca y contenido de humedad del suelo natural.
- Determinación de las propiedades mecánicas en laboratorio. Las propiedades mecánicas determinadas en laboratorio fueron: Resistencia en compresión simple, cohesión y ángulo de fricción del suelo, todas ellas realizadas sobre muestra remoldeadas a la máxima densidad seca y contenido de humedad óptima del Proctor modificado, curadas con o sin aceite durante 7 días. Se toma la decisión de utilizar el procedimiento

del Proctor modificado, en vista de que en el proceso de compactación de terraplenes los rodillos vibratorios transmiten gran energía que no se pueden comparar con el procedimiento del Próctor estándar.

- Sistematización y organización de datos. Los datos recolectados de laboratorio fueron sistematizados en el Programa Minitab y Microsoft Excel, luego organizados en cuadros y figuras.
- Análisis e interpretación de datos. De los cuadros y gráficos respectivos se realizó el análisis e interpretación de las características mas notables.
- Finalmente se tiene la discusión de resultados en contraste con la teoría existente y las conclusiones.

3.5 TÉCNICA ESTADÍSTICA.

La técnica estadística utilizada para el análisis de los resultados, fue el coeficiente de correlación lineal de Pearson, cuyo estadígrafo es:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2)}}$$

Para interpretar el coeficiente de correlación (r) que se obtiene, se toma como criterio de decisión, la siguiente calificación:

- | | |
|----------------------------------|-----------------|
| • (+)(-) Correlación inexistente | 0.00 = r < 0.00 |
| • (+)(-) Correlación muy baja | 0.01 = r < 0.20 |
| • (+)(-) Correlación baja | 0.21 < r > 0.40 |
| • (+)(-) Correlación moderada | 0.41 < r > 0.60 |
| • (+)(-) Correlación alta | 0.61 < r > 0.80 |
| • (+)(-) Correlación muy alta | 0.81 = r = 0.99 |
| • (+)(-) Correlación perfecta | 1.00 = r = 1.00 |

Para la prueba de hipótesis estadística se tomó en cuenta lo siguiente:

Hipótesis nula Ho: $\rho = 0$ (no existe correlación)

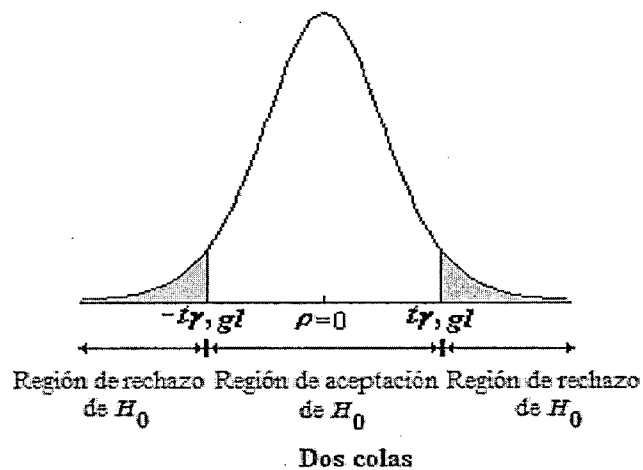
Hipótesis alterna Ha: $\rho \neq 0$ (existe correlación)

Se consideró para el análisis un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Estadístico de prueba para comprobación.

$$t_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Con $gl = n-2$ (grados de libertad); $t(\alpha/2; gl)$



El análisis de la comprobación de los datos con la prueba "t", se muestra en el anexo de la presente investigación.

El paquete computacional para trabajar los datos está compuesto por: Microsoft Excel 2013 y Minitab Release 12.1.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL SUELO NATURAL.

El suelo natural encontrado en el lugar de estudio es un suelo fino, concretamente arcilla de baja plasticidad (CL), con poca presencia de limos y arenas, 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. De este suelo se han extraído las muestras, teniendo cuidado de que no contenga materia orgánica y considerando además, que es la parte superficial del suelo la que es propenso a contaminación por aceite residual.

En laboratorio se ha determinado la densidad seca del suelo natural que resultó ser en promedio 1.58 g/cm^3 , la humedad natural encontrada fue de 22.63% variando ésta de acuerdo a las estaciones del año del lugar.

En el cuadro siguiente se muestran las características granulométricas del suelo en estudio.

Cuadro 05

Características granulométricas y plásticas del suelo, Puno 2013.

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.

Nota: En base a los ensayos de granulometría y plasticidad.

Del cuadro 05 se observa que 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).

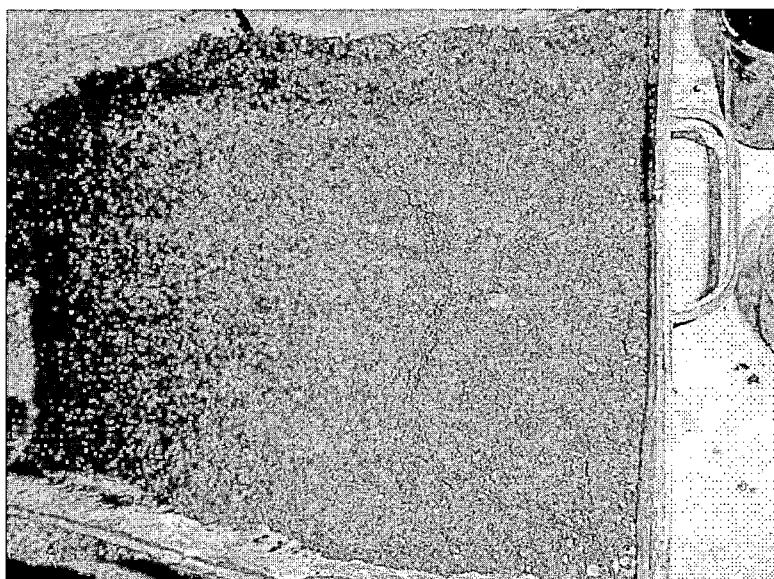


Figura 01: Suelo mezclado con aceite residual, Puno 2013.

En la figura 01 se muestra la mezcla suelo - aceite residual para determinar su efecto a incrementos sucesivos. En laboratorio se ha determinado la densidad del aceite residual o quemado, resultando ser un poco más pesado que el aceite nuevo, debido a que contiene metales pesados producto del desgaste del motor, esta densidad promedio es de 0.94 g/cm^3 .

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.

Dentro de las características físicas que presenta el suelo en estudio, se analizaron las siguientes: plasticidad, densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad y la permeabilidad.

4.3.1 Plasticidad.

Para el estudio de la plasticidad se tiene el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad, definido este último como la diferencia de los dos anteriores. Los datos analizados se encuentran en el siguiente cuadro:

Cuadro 06

Plasticidad del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.

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

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En base a los ensayos de plasticidad.

El límite líquido es el contenido de agua o humedad entre los estados plástico y líquido del suelo, este factor es importante para la clasificación de suelos en ingeniería y la consideración de parámetros básicos para la construcción de pavimentos. En este sentido, del cuadro 06 se observa una reducción del límite líquido con el incremento del aceite residual. En un suelo sin tratamiento este límite alcanza valores de 37.86% al 0% de aceite y se reduce notablemente al 10% de aceite alcanzando un valor de 17.38%, esto es debido a que el aceite actúa como un fluido y hace que se desplace el agua del suelo. El índice $r = -0.869$ con $p = 0.025$, indica que existe una correlación inversa muy alta entre el contenido de aceite residual y el límite líquido, es decir a mayor contenido de aceite el LL se reduce notablemente, por lo tanto en suelos arcillosos el LL es reducido por el incremento del aceite.

El límite plástico del suelo es el contenido de agua o humedad del suelo entre el estado plástico y semisólido, este es otro de los factores importantes

en la clasificación de suelos y otra característica importante a considerar en la construcción de pavimentos. En el cuadro 06 se muestra una reducción de este límite con el incremento de aceite residual, al 0% de aceite se tiene un LP de 21.97% y al 10% de aceite un valor de 13.74%. El LP se determina amasando la plasta de suelo y haciendo rollitos de 3 mm de diámetro; por lo que el agua le da cierta plasticidad al suelo y este es asumido por el aceite residual. El coeficiente $r = -0.943$ con $p = 0.005$, indica que hay una correlación inversa muy alta entre el contenido de aceite y el límite plástico.

El índice de plasticidad es la diferencia entre los límites anteriores, por tanto si los límites líquido y plástico disminuyen con el incremento de aceite, el índice de plasticidad también se reduce. En el cuadro 06 se observa, para el 0% de aceite se tiene un IP de 15.89% y para el 10% de aceite un valor de 3.64%, reduciéndose en 12.25%. El coeficiente $r = -0.736$ con $p = 0.095$, indica que existe una correlación inversa alta entre el contenido de aceite y el IP, pero no es significativo al 5%, sino es con tendencia ($p < 10\%$).

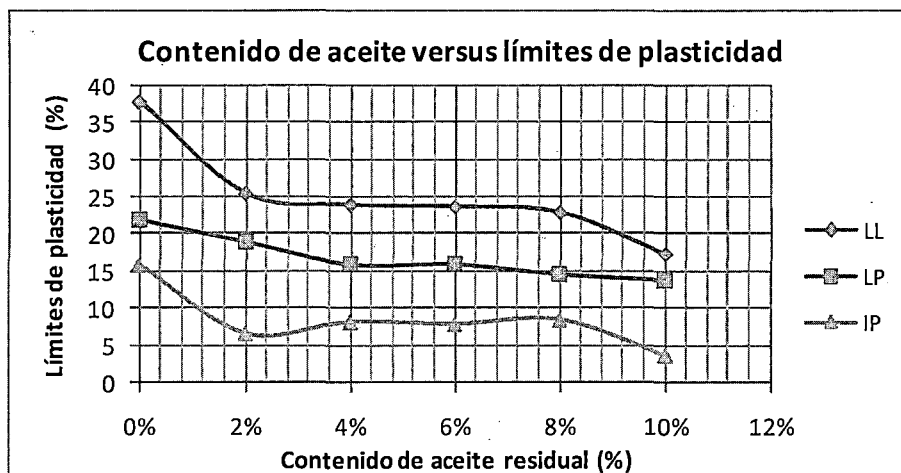


Figura 02: Relación entre el contenido de aceite residual y los límites de plasticidad, Puno 2013.

Fuente: Elaboración propia en base al cuadro 06.

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), en el caso del presente estudio el límite líquido bajo en 54.1% y el límite plástico en 37.5% al 10% de contenido de aceite, lo que concuerda con el suelo fino de grado VI compuesto básicamente por arcilla y limo. El límite líquido se determina en la cuchara de Casagrande, y es el contenido de agua para el cual una ranura hecha en él se cierra a 25 golpes; por tanto el aceite sustituye al agua reduciéndose de esa manera el límite líquido. Al determinar el límite plástico se ha observado en laboratorio que los rollitos de suelo se resquebrajan a contenidos de humedad por debajo del suelo no contaminado. Por tanto, se concluye que hay una reducción de los límites de plasticidad.

4.3.2 Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo.

El grado de compactación de un suelo depende del contenido de humedad, a menores y mayores contenidos de humedad el suelo no se compacta adecuadamente, existiendo un óptimo para la densidad seca máxima. El siguiente cuadro muestra los resultados de la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad.

Cuadro 07

Densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.

Indicador	Und.	0%	2%	4%	6%	8%	10%	R	P
Densidad seca máxima, $\gamma_{d(máx)}$	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

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En base al ensayo de compactación, Proctor modificado.

La densidad y el contenido de humedad de un suelo se determinan en laboratorio para determinar la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo. Estos indicadores son importantes durante la construcción de capas para carreteras en la cual se trabaja a contenidos óptimos de humedad para conseguir densidades altas de suelo, con el propósito de resistir las cargas del tráfico, es por ello que se ha realizado ensayos de Proctor modificado. En el cuadro 07 se muestra que la densidad seca máxima al 0% de aceite es de 1.96 g/cm³ y al 10% es de 1.77 g/cm³, reduciéndose en 0.19

g/cm^3 . Se observa además que entre el 2% y 4% la densidad seca aumenta a 2.02 g/cm^3 , en cambio para valores de más de 4% de aceite en el suelo disminuye considerablemente. Por lo que el incremento del porcentaje de aceite residual disminuye la densidad seca. El índice $r = -0.882$ con $p = 0.020$, indica que hay una correlación inversa muy alta entre el contenido de aceite y la densidad seca máxima.

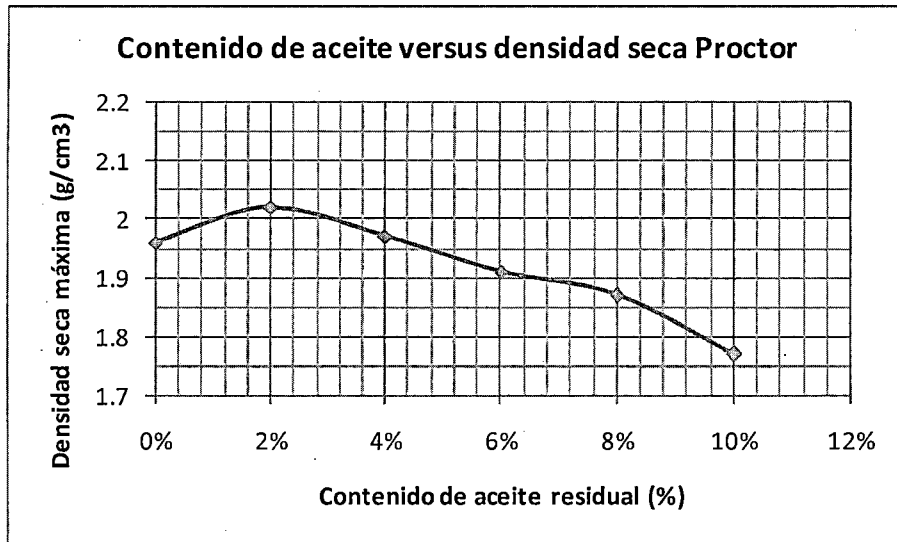


Figura 03: Relación entre el contenido de aceite residual y la máxima densidad seca, Puno 2013.

Fuente: Elaboración propia en base al cuadro 07.

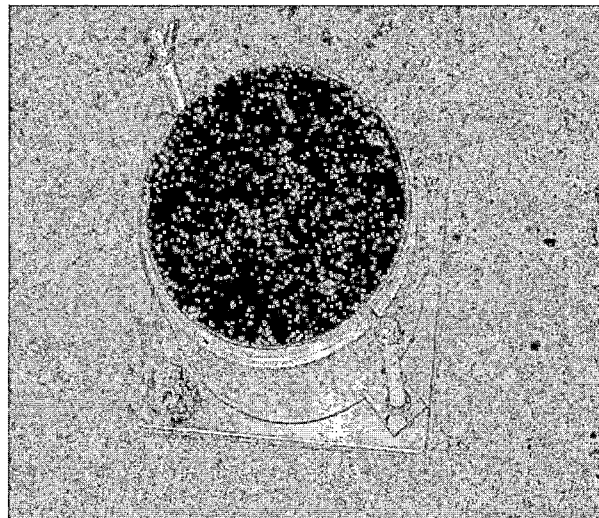


Figura 04: Suelo compactado con aceite residual, Puno 2013.

Del cuadro 07 también podemos observar que hay una disminución en el contenido de humedad óptimo, desde 10.6% al 0% de aceite hasta 5.8% al 10% de aceite, reduciéndose en 4.8%. Esto se debe a que el aceite residual

toma los espacios vacíos del suelo que antes estaban ocupados por el agua. Por tanto, como la densidad del aceite es menor a la del agua se produce la disminución de la densidad seca a grandes cantidades de aceite en el suelo. El índice $r = -0.941$ con $p = 0.005$, indica que hay una correlación inversa muy alta entre el contenido de aceite y el contenido de humedad óptimo.

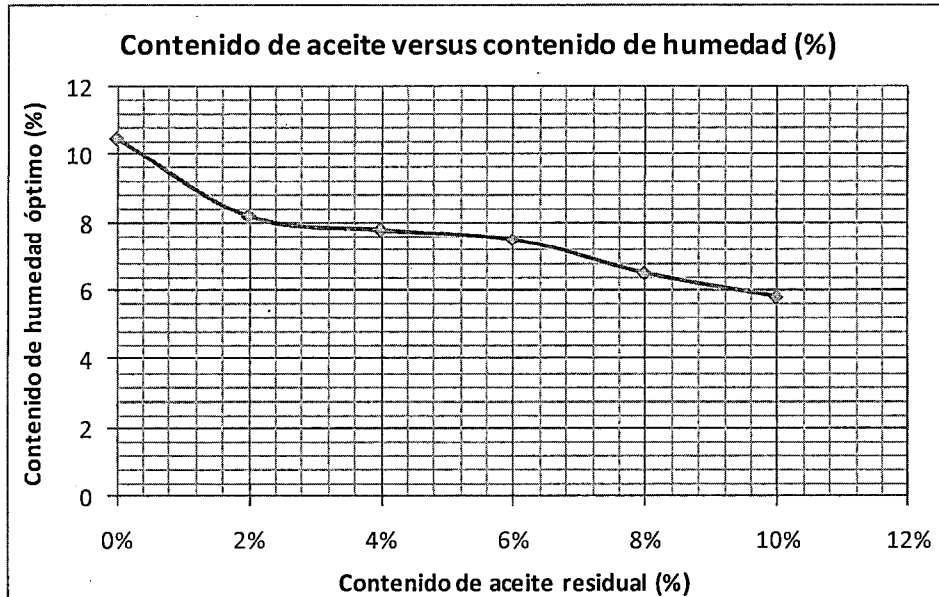


Figura 05: Relación entre el contenido de aceite residual y el contenido de humedad óptimo, Puno 2013.

Fuente: Elaboración propia en base al cuadro 07.

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/cm^3 al 10% de aceite (aproximadamente -9.7%). Estos resultados son consistentes con los resultados presentados en los antecedentes por otros trabajos quienes estudian un similar material contaminado con petróleo o aceite. 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 (Khomehchiyan et al., 2007), otro investigador también 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/cm^3 , 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). Para nuestro 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 la compactabilidad del suelo. Para otro investigador, 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.

4.3.3 Permeabilidad hidráulica.

La permeabilidad del suelo es la capacidad que éste ofrece al paso del agua a través de los espacios vacíos. En este sentido el aceite residual ocupa estos espacios vacíos no permitiendo el paso del agua a través del suelo. El cuadro 08 muestra los valores de permeabilidad del suelo remoldeado a la densidad natural a diferentes contenidos de aceite residual.

Cuadro 08

Permeabilidad del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.

Indicador	Und.	0%	2%	4%	6%	8%	10%	r	p
Permeabilidad hidráulica, k	cm/s	1.184E-03	6.234E-04	2.449E-04	1.745E-04	1.112E-04	9.864E-05	-0.88	0.021

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En base al ensayo de permeabilidad de carga variable.

Las muestras de suelo-aceite, remoldeadas aproximadamente a la densidad seca y contenido de humedad naturales del suelo, se ensayaron en un permeámetro de carga variable obteniéndose una disminución de la permeabilidad a mayor contenido de aceite residual. Del Cuadro 08, para el 0% de aceite la permeabilidad del suelo es de $1.184 \cdot 10^{-3}$ cm/s, el cual disminuye a $9.864 \cdot 10^{-5}$ cm/s al 10% de aceite, reduciéndose en $1.1 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Este análisis significa que el aceite residual está ocupando los espacios vacíos del suelo y no fluye; por tanto no permite el paso del agua, es decir los poros del suelo se taponan con el aceite. Por otro lado en la gráfica se muestra que hay un

decremento importante en la parte inicial de la curva. El coeficiente $r = -0.880$ con $p = 0.021$, indica que hay una correlación inversa muy alta por lo que a mayor contenido de aceite menor permeabilidad del suelo. Esta situación hace que el aceite residual puede ser utilizado para impermeabilizar presas de tierra, terraplenes o muros de contención.

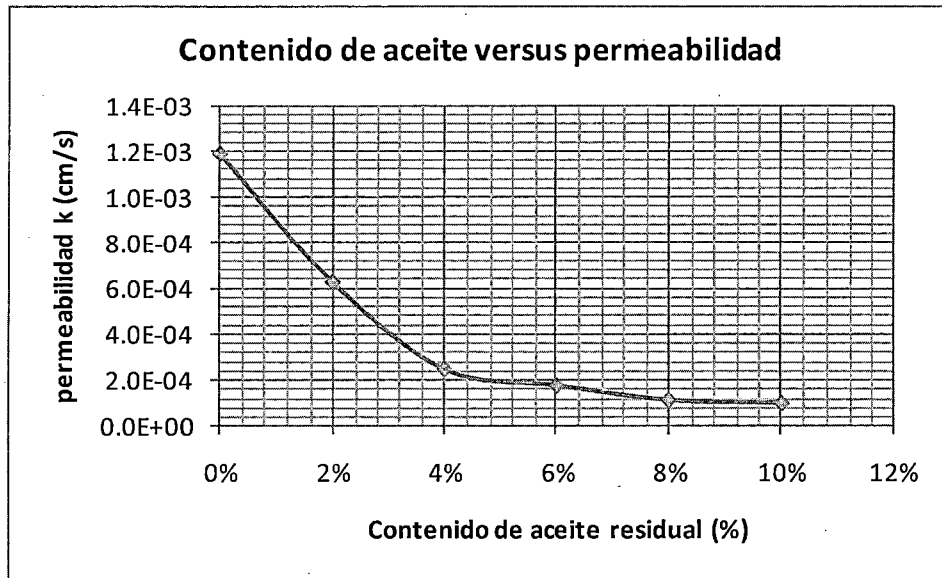


Figura 06: Relación entre el contenido de aceite residual y la permeabilidad, Puno 2013.

Fuente: Elaboración propia en base al cuadro 08.

La contaminación con petróleo induce a una reducción en la **permeabilidad** (Khomehchiyan et al., 2007), para el presente estudio se ha observado una reducción de la permeabilidad de $1.184E-03$ a $9.864E-05$ cm/s lo que concuerda con gran parte de estudios. 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.

En general, el incremento del aceite residual en el suelo reduce la las propiedades físicas de los suelos finos como son: permeabilidad, plasticidad, densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo.

4.4 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL SUELO.

Las características mecánicas del suelo analizado son la resistencia a compresión simple, la cohesión y el ángulo de fricción interna, todos ellos obtenidos a través de muestras remoldeadas a la máxima densidad seca del Proctor correspondiente a cada contenido de aceite.

4.4.1 Resistencia a compresión simple.

En el esfuerzo a compresión simple se aplica una carga axial vertical a la muestra cilíndrica de suelo, se representa por el coeficiente q_u . El cuadro siguiente muestra la variación de este coeficiente con el contenido de aceite.

Cuadro 09

Resistencia a compresión simple del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.

Indicador	Und.	0%	2%	4%	6%	8%	10%	r	P
Compresión simple, q_u	kg/cm ²	5.23	7.27	7.61	3.19	2.35	1.78	-0.775	0.070

Fuente: Elaboración propia.

Notas: En base al ensayo de resistencia a compresión simple.

La resistencia a compresión simple en general es reducido por el aumento del contenido de aceite en suelos remoldeados a la máxima densidad seca y contenido de humedad óptimo. Pero del cuadro 09 se observa que hay un incremento inicial del esfuerzo en compresión simple del 2 al 4% de aceite residual con esfuerzos de 7.27 y 7.61 kg/cm² respectivamente. Esta situación presentada puede ser aprovechada para estabilizar suelos arcillosos de tal manera que se mejore las características de resistencia y de compactación de la masa de suelo. Del mismo cuadro se observa que a mayores contenidos de aceite se reduce la resistencia a compresión simple, llegando a 1.78 kg/cm² al 10% de contenido de aceite, reduciéndose en 3.45 kg/cm² respecto a 5.23 kg/cm² al 0% de aceite. El coeficiente $r = -0.775$ con $p = 0.070$, indica que existe una correlación inversa alta entre el contenido de aceite y la resistencia a compresión simple, a mayor contenido de aceite residual se reduce la resistencia a compresión simple; pero no es significativo al 5% sino se considera de tendencia ($p < 10\%$).

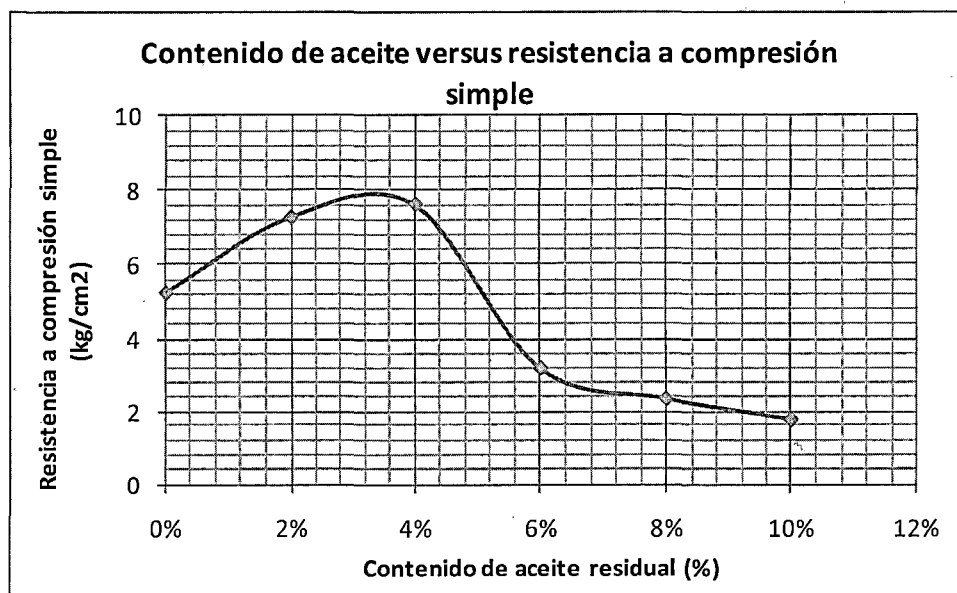


Figura 07: Relación entre el contenido de aceite residual y la resistencia a compresión simple, Puno 2013.

Fuente: Elaboración propia en base al cuadro 09.

El **esfuerzo a compresión simple** también se reduce cuando se incrementa el contenido de aceite residual. Las muestras CL cambiaron de una consistencia dura (qu igual a 400 KN/m^2 al 0%) a una consistencia suave al 10% del contenido de hidrocarburo (Khamehchiyan et al., 2007), decremento en el esfuerzo de compresión inconfiada (-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). Para el presente estudio qu bajó de 5.23 a 1.78 kg/cm^2 al 10% de aceite (aproximadamente un -66%), lo que concuerda con la mayoría de 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/cm^2 . 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).

4.4.2 Cohesión y ángulo de fricción interna.

Para analizar la resistencia al esfuerzo cortante se tienen dos parámetros: la cohesión entendida como el esfuerzo que permite mantener unidas las partículas de suelo y el ángulo de fricción interna del suelo que es un indicador de la fricción entre partículas de suelo, lo que incrementa la resistencia a esfuerzo cortante de los suelos. El cuadro siguiente muestra la variación de estos parámetros con el contenido de aceite, determinado en pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas con muestras remoldeadas a la máxima densidad seca y contenido de humedad óptimo del Proctor.

Cuadro 10

Cohesión y ángulo de fricción interna del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2013.

Indicador	Und	0%	2%	4%	6%	8%	10%	R	p
Cohesión, c	kg/cm ²	0.34	0.33	0.44	0.27	0.17	0.16	-0.768	0.074
Ángulo de fricción, ϕ	°	9.52	10.15	13.12	10.65	10.15	8.67	-0.238	0.649

Fuente: Elaboración propia.

Notas: En base al ensay triaxial UU.

Del cuadro 10 se observa una reducción en el valor de la cohesión cuando se incrementa el contenido de aceite residual en el suelo. Al 0% de aceite residual se tiene una cohesión de 0.34 kg/cm² y al 10% de aceite la cohesión es de 0.16 kg/cm², reduciéndose en 0.18 kg/cm², al 4% de aceite se tiene una cohesión máxima de 0.44 kg/cm². El aceite al entrar en contacto con los granos de suelo disuelve la fuerza de unión existente entre las partículas. El coeficiente $r = -0.768$ con $p = 0.074$, indica que existe una correlación inversa alta entre el contenido de aceite y la cohesión del suelo; pero no es significativo al 5%, considerándose solo de tendencia ($p < 10\%$).

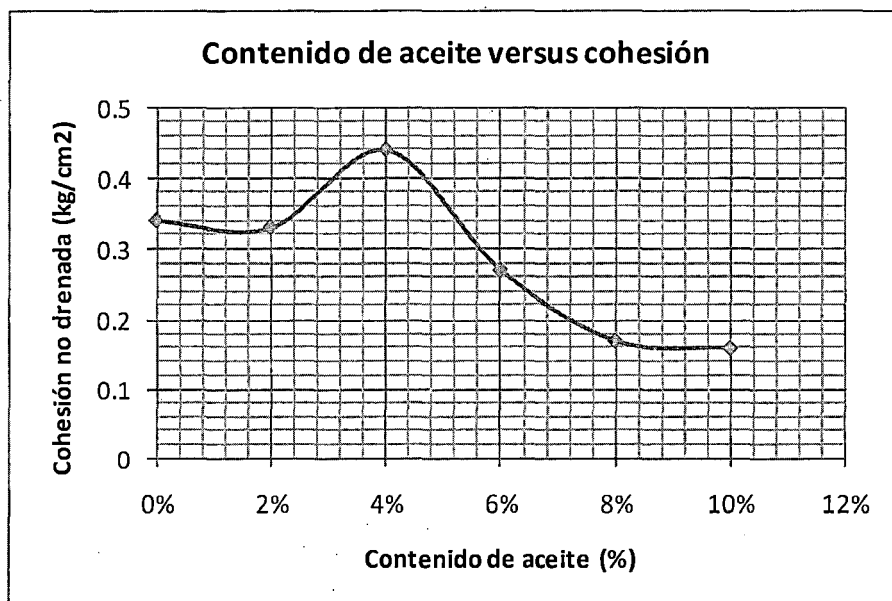


Figura 08: Relación entre el contenido de aceite residual y la cohesión, Puno 2013.

Fuente: Elaboración propia en base al cuadro 10.

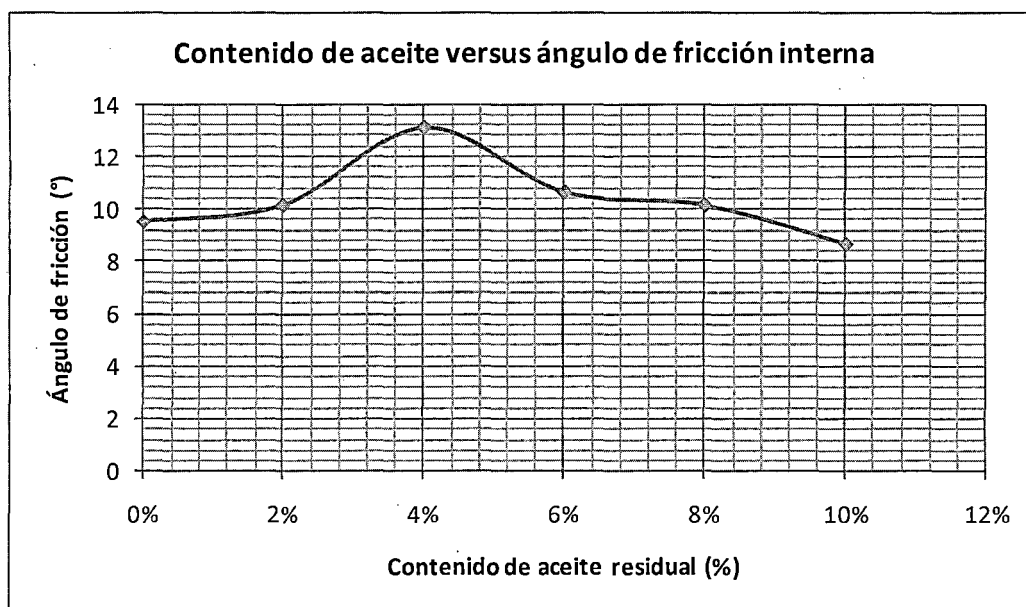


Figura 09: Relación entre el contenido de aceite residual y el ángulo de fricción interna, Puno 2013.

Fuente: Elaboración propia en base al cuadro 10.

Del cuadro 10, el ángulo de fricción interna del suelo se incrementa inicialmente su valor de 9.52° al 0% a 13.12° al 4% de aceite, luego disminuye a 8.67° al 10% del contenido de aceite. Esta situación no indica una correlación adecuada, por lo que no se puede indicar si aumenta o disminuye este parámetro con el contenido de aceite, más allá del 10% del contenido de aceite, no es observable el aumento, debido a que el suelo se encuentra

totalmente saturado de aceite residual. 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, esta situación se muestra en el cuadro precedente y no se podría generalizar de que a mayor contenido de aceite residual se incrementa o disminuye el ángulo de fricción interna del suelo.

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). Esta situación no concuerda con el presente estudio debido a que el valor de $r = -0.238$ indica que no hay correlación, teniéndose un valor máximo de 13.12° entre el 2% y 4% de contenido de aceite, realizado en pruebas triaxiales. Este mismo autor reporta que hay una extrema reducción en la cohesión con el incremento del contenido de aceite en suelos CL, lo que es corroborado por nuestra investigación, hay una reducción de 0.34 kg/cm^2 a 0.16 kg/cm^2 al 10% de aceite (aproximadamente -53%). Otro investigador indica también 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.

En general, el incremento del aceite residual en el suelo reduce las propiedades mecánicas de los suelos finos como son: esfuerzo en compresión simple, cohesión. El ángulo de fricción interna es incrementada hasta un punto determinado, después de la cual se observa un pequeño decremento.

CONCLUSIONES

El aceite residual mezclado con el suelo reduce las propiedades físico mecánicas del suelo arcilloso de baja plasticidad, existiendo una correlación inversa de las características físico mecánicas, de plasticidad, densidad seca máxima, contenido de humedad, permeabilidad, cohesión y resistencia a compresión simple, con el contenido de aceite residual. Su aplicación en la estabilización o mejoramiento de suelos es adecuado, con mezclas de suelo aceite en el rango de 2% a 4% de aceite residual, por tanto la investigación, efecto del aceite residual de la maquinaria pesada en los factores físico mecánicas del suelo presenta las siguientes conclusiones específicas:

Las características iniciales que presenta el suelo estudiado es una arcilla de baja plasticidad, suelo fino, clasificado como CL con un peso específico seco natural de 1.58 g/cm^3 , contenido de humedad natural de 22.63%, índice de plasticidad de 15.89%, grava 4.12%, Arena 27.02% y Limo y Arcilla 68.86%.

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%, 0.19 g/cm^3 , 4.8% y $1.1 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$ respectivamente. El aceite residual favorece el proceso de compactación aumentando la densidad seca máxima en un rango del 2% al 4%, reduciéndose esta propiedad cuando aumenta el contenido de aceite más allá 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/cm^2 y 0.18 kg/cm^2 respectivamente, hay que observar que el esfuerzo en compresión simple aumenta en el rango del 2% al 4% de aceite hasta 7.61 kg/cm^2 , igualmente la cohesión llega hasta 0.44 kg/cm^2 . 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.

RECOMENDACIONES

Estabilizar los suelos para la construcción de pavimentos de bajo volumen de tránsito o terraplenes, usando aceite residual de vehículos motorizados en las proporciones del 2% al 4% respecto al peso seco del suelo, para mejorar las características de resistencia y deformabilidad del pavimento frente a cargas externas del tráfico, de tal manera estar dentro de los rangos permitidos por las normas medioambientales, más allá de este rangos el aceite residual afecta de forma negativa a las propiedades físico mecánicas del suelo.

Para el uso de aceite residual en la impermeabilización de suelos, realizar estudios de infiltración o percolación de tal manera que no se permita contaminar aguas subterráneas y suelos agrícolas aledaños.

Realizar estudios sobre los efectos que presenta el aceite residual en las propiedades químicas y biológicas de los suelos agrícolas, debido a que afecta negativamente las propiedades físicas convirtiéndolas en suelo infértil.

Efectuar estudios sobre tratamiento o biorremediación de suelos contaminados con aceite residual, como la utilización de fertilizantes, calefacción, fitorremediación, inclusión de bacterias, uso de bacterias y hongo, electrorremediación, peróxido de hidrógeno, etc.

Al Ministerio de Transportes y Comunicaciones considerar en su normatividad la estabilización de suelos con aceite residual y al Ministerio del Ambiente, realizar un plan de gestión de los aceites usados, donde se considere la recolección y tratamiento de este tipo de residuos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y., Zauahre, M. E., Reyes, N., García, H., Morales, C., & Revilla, A. (2011). Metales pesados en un suelo afectado con aceite proveniente de motores de combustión interna. *Multiciencias*, *11*, 26-34.
- 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.
- Antezana Jemio, L. (2009). *Contaminación Ambiental Por Tóxicos Utilizados En Proyectos Viales*. La Paz Bolivia.
- Arner, A., Barberán, R., & Mur, J. (2006). la política de gestión de residuos: Los aceites usados. *Revista de economía aplicada*, *XIV*, 81-100.
- Cai, Q.-Y., Mo, C.-H., Wu, Q.-T., Katsoyiannis, A., & Zeng, Q.-Y. (2008). The status of soil contamination by semivolatile organic chemicals (SVOCs) in China: A review. *Science of The Total Environment*, *389*(2-3), 209-224. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.08.026
- 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.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., Castillo, R. F. d., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, *Ecosistemas 13*(2), 90-97.
- 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
- Edema, C. U., Idu, T. E., & Edema, M. O. (2011). Remediation of soil contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons from crude oil. *African Journal of Biotechnology*, *10*(7), 1146-1149. doi: 10.5897/AJB10.1308
- Fang, H. Y. (1997). *Introduction to Environmental Geotechnology*. CRC Press.

- Ferrera-Cerrato, R., Rojas-Avelizapa, N. G., Poggi-Varaldo, 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.
- Gómez Giraldo, Á. M. (2005). *Logística en reversa: Manejo integral y uso de aceites lubricantes automotrices*. Colombia: Universidad Medellín.
- Gonzales de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. España: Editorial Prentice Hall.
- Jury, W. A. (1989). *Chemical Movement Through Soil. Vadose Zone Modeling of Organic Pollutants*: Lewis Publishers Inc. USA.
- Kavvadias, V., Doula, M. K., Komnitsas, K., & Liakopoulou, N. (2010). Disposal of olive oil mill wastes in evaporation ponds: Effects on soil properties. *Journal of Hazardous Materials*, 182(1-3), 144-155. doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.007
- 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
- Kisic, I., Mesic, S., Basic, F., Brkic, V., Mesic, M., Durn, G., . . . Bertovic, L. (2009). The effect of drilling fluids and crude oil on some chemical characteristics of soil and crops. *Geoderma*, 149(3-4), 209-216. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.11.041
- Labud, V., Garcia, C., & Hernandez, T. (2007). Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. *Chemosphere*, 66(10), 1863-1871. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.08.021
- 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.
- Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L., & del Toro Carrillo de Alborno, M. (2011). Effects of oil mill wastes on surface soil properties, runoff and soil losses in traditional olive groves in southern Spain. *CATENA*, 85(3), 187-193. doi: 10.1016/j.catena.2011.01.017
- Martínez M., V. E., & Lopez S., F. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra Latinoamericana, Universidad Autónoma de Chapingo, México*.
- Mena Nieves, M. A. (2009). *Estándares de gestión medio ambiental en talleres de mecánica automotriz*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, EAP de Ingeniería Industrial.
- Münch, D. (1992). Soil contamination beneath asphalt roads by polynuclear aromatic hydrocarbons, zinc, lead and cadmium. *Science of The Total Environment*, 126(1-2), 49-60. doi: 10.1016/0048-9697(92)90483-9
- 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.
- Rodríguez Jerónimo, G. (2006). *Estudio del funcionamiento de los sistemas de la calidad y el medio ambiente en el sector de la construcción de la comunidad de Madrid*. Tesis Doctoral, Granada, Madrid.
- Rosales Morales, L. A. (2008). *Biorremediación de suelos contaminados con aceite usado de automóvil con el hongo de la pudrición blanca Pleurotus ostreatus SETAS en Durango*. México: Instituto Politécnico Nacional CIIDIR/Durango.
- 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
- Semarnap. (1996). *Los Suelos de Tabasco Restauración, Conservación y Uso*: Gobierno Constitucional del Estado de Tabasco.
- 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.
- Tang, J., Lu, X., Sun, Q., & Zhu, W. (2012). Aging effect of petroleum hydrocarbons in soil under different attenuation conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 149(0), 109-117. doi: 10.1016/j.agee.2011.12.020
- Tang, J., Wang, M., Wang, F., Sun, Q., & Zhou, Q. (2011). Eco-toxicity of petroleum hydrocarbon contaminated soil. *Journal of Environmental Sciences*, 23(5), 845-851. doi: 10.1016/s1001-0742(10)60517-7
- 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.

ANEXOS

- 1.- Operacionalización de las variables de estudio.
- 2.- Análisis inferencial para el coeficiente de correlación lineal r de Pearson.
- 3.- Paquetes estadísticos utilizados.
- 4.- Fotografías de trabajo en laboratorio.
- 5.- Fotografías de campo.
- 6.- Ensayos de laboratorio.

Operacionalización de las variables de estudio.

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA
VARIABLE INDEPENDIENTE Aceite residual	Cantidad.	Contenido de aceite residual en la masa de suelo al 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10%	Razón %
VARIABLE DEPENDIENTE Factores físico mecánicos del suelo	Propiedades físicas del suelo Propiedades mecánicas del suelo	Densidad seca máxima. Contenido de humedad óptimo. Límite líquido. Límite plástico. Permeabilidad. Cohesión Fricción. Resistencia.	Razón g/cm ³ % % % cm/s kg/cm ² ° Kg/cm ²
VARIABLE INTERVINIENTE Muestra de suelo	Condiciones de la muestra	Contenido de humedad. Peso específico.	Razón % g/cm ³

Análisis inferencial para el coeficiente de correlación lineal r de pearson.

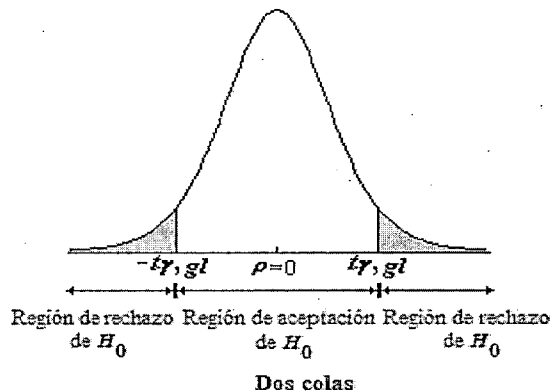
Prueba de hipótesis:

Hipótesis	Dos colas	Con el valor de p	Condición
Nula: Ho	Ho: $\rho=0$	Si $p>\alpha$ aceptar Ho	No existe correlación
Alternativa: Ha	Ha: $\rho\neq 0$	Si $p\leq\alpha$ rechazar Ho	Existe correlación

Estadístico de prueba:

$$t_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Con $gl = n-2$ (grados de libertad); $t(\alpha/2;gl)$



Nivel de significancia y prueba de hipótesis para los indicadores de suelo.

Indicadores de suelo	Simbol.	Und	N	Gl	α	r	tc	$t(\alpha/2,gl)$	p	Condición
Límite líquido	LL	%	6	4	0.05	-0.869	-3.509	2.776	0.025	rechazar Ho
Límite plástico	LP	%	6	4	0.05	-0.943	-5.642	2.776	0.005	rechazar Ho
Índice de plasticidad	IP	%	6	4	0.10	-0.736	-2.174	2.132	0.095	rechazar Ho
Densidad seca máxima	$\gamma_d(\text{máx})$	g/cm ³	6	4	0.05	-0.882	-3.746	2.776	0.020	rechazar Ho
Contenido de humedad óptimo	CHO	%	6	4	0.05	-0.941	-5.550	2.776	0.005	rechazar Ho
Permeabilidad	K	cm/s	6	4	0.05	-0.880	-3.698	2.776	0.021	rechazar Ho
Compresión simple	σ_u	kg/cm ²	6	4	0.10	-0.775	-2.451	2.132	0.070	rechazar Ho
Cohesión	C	kg/cm ²	6	4	0.10	-0.768	-2.400	2.132	0.074	rechazar Ho
Ángulo de fricción	ϕ	ϕ	6	4	0.10	-0.238	-0.491	2.132	0.649	aceptar Ho

Fuente: Elaboración propia.

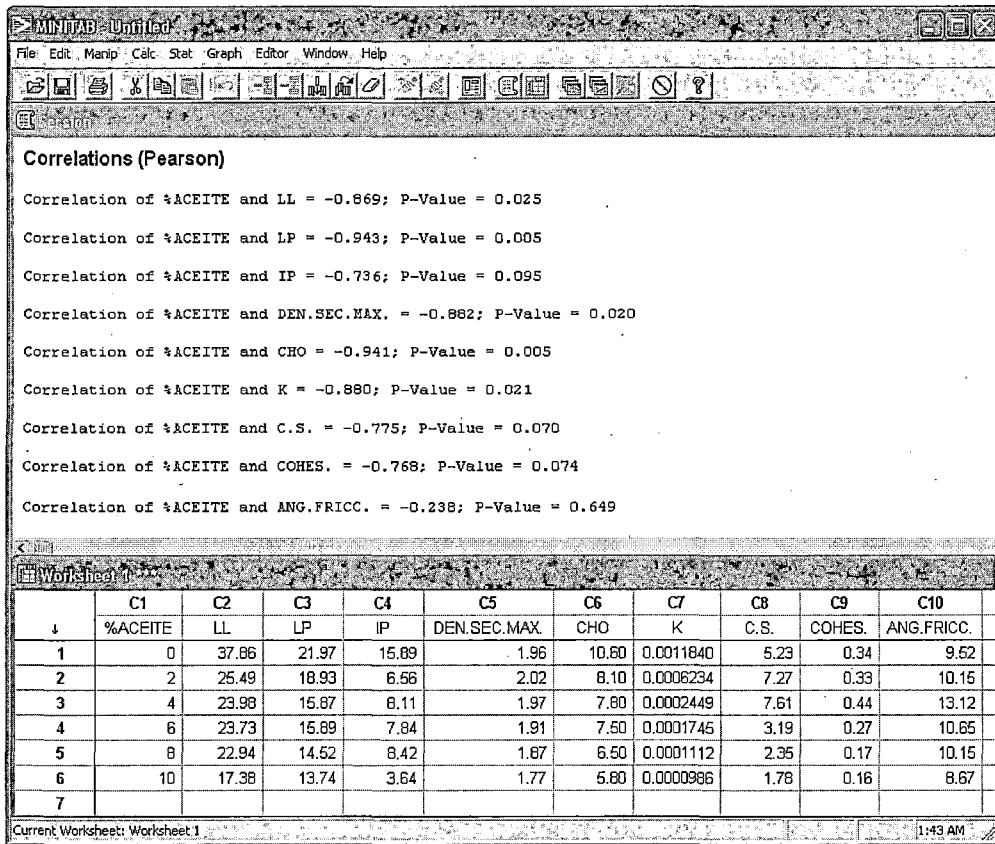
Análisis:

para el Límite líquido, Límite plástico, Densidad seca máxima, Contenido de humedad óptimo y Permeabilidad se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.05; por tanto existe correlación entre el contenido de aceite y los indicadores mencionados.

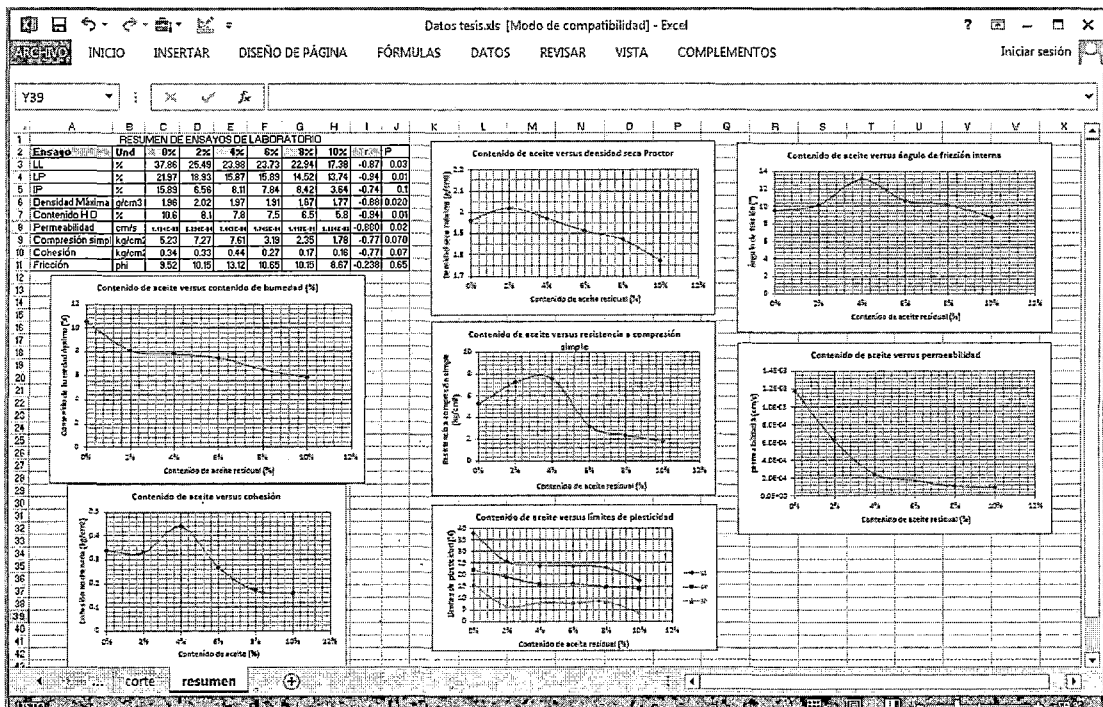
Para el Índice de plasticidad, Compresión simple y Cohesión se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significancia de 0.10; por tanto existe correlación entre el contenido de aceite y los indicadores mencionados.

Para el ángulo de fricción se acepta la hipótesis nula; por tanto no existe correlación entre el contenido de aceite y el ángulo de fricción interna.

Paquetes estadísticos utilizados.



Minitab Release 12.1



Microsoft Excel 2013

Fotografías de trabajo en laboratorio.



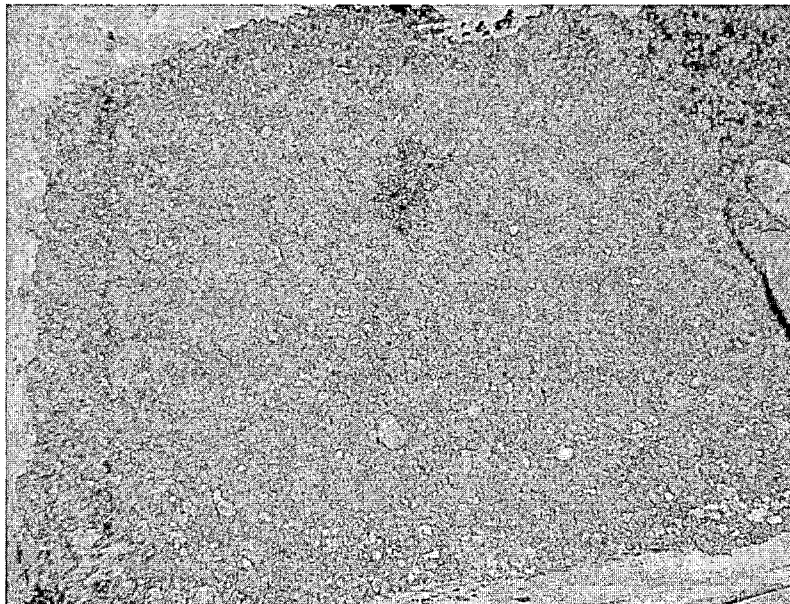
Análisis granulométrico del suelo.



Proceso de mezclado de suelo aceite.



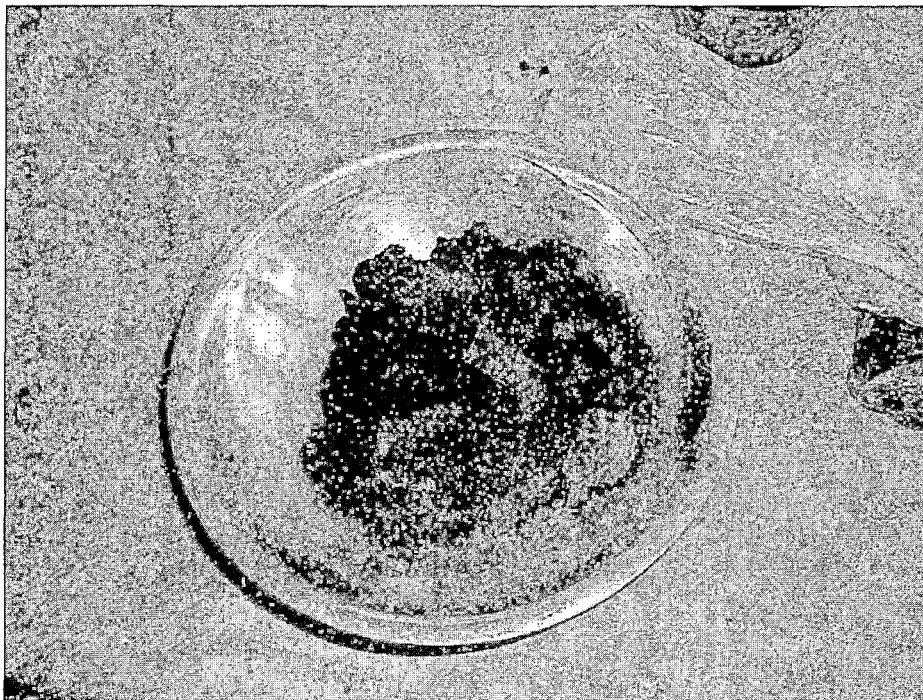
Determinaciones de los límites de Atterberg.



Resultado de la mezcla suelo aceite para el curado.



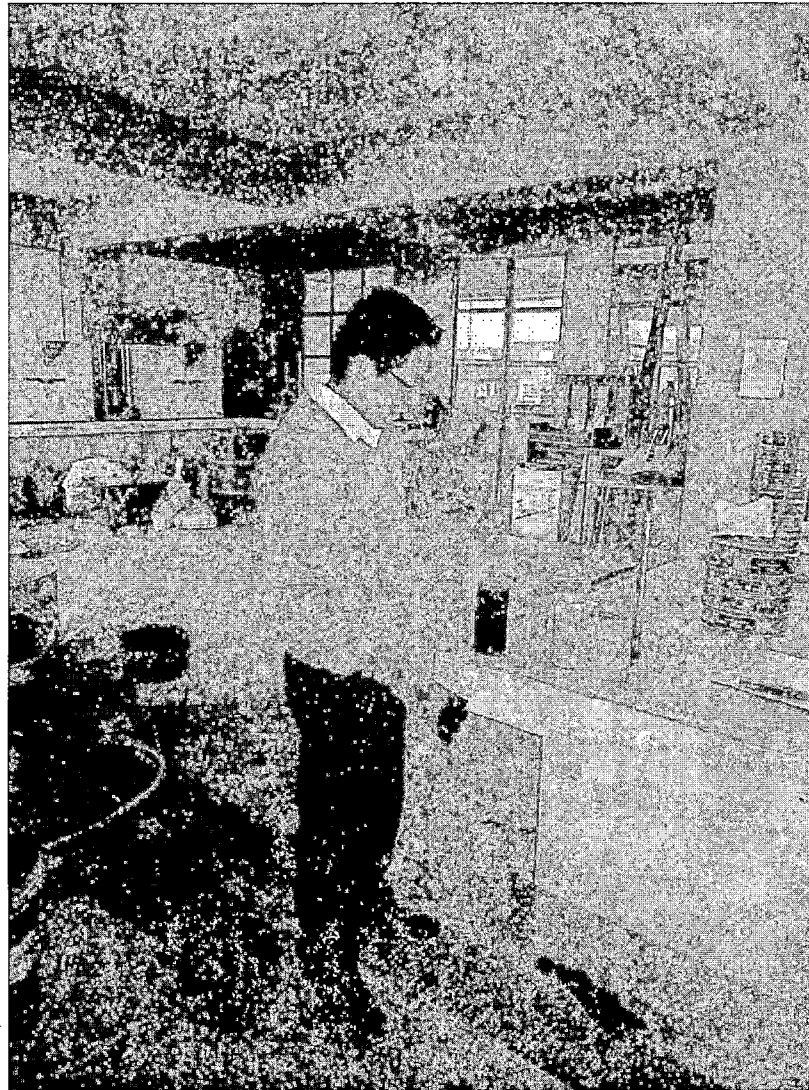
Compactación Proctor y extracción de muestra para determinar el contenido de humedad.



Muestra suelo aceite extraída del horno después de 14 horas.



Aceite residual usado para la mezcla de suelo aceite.



Remoldeo de especímenes para el ensayo de compresión simple y ensayos triaxiales.

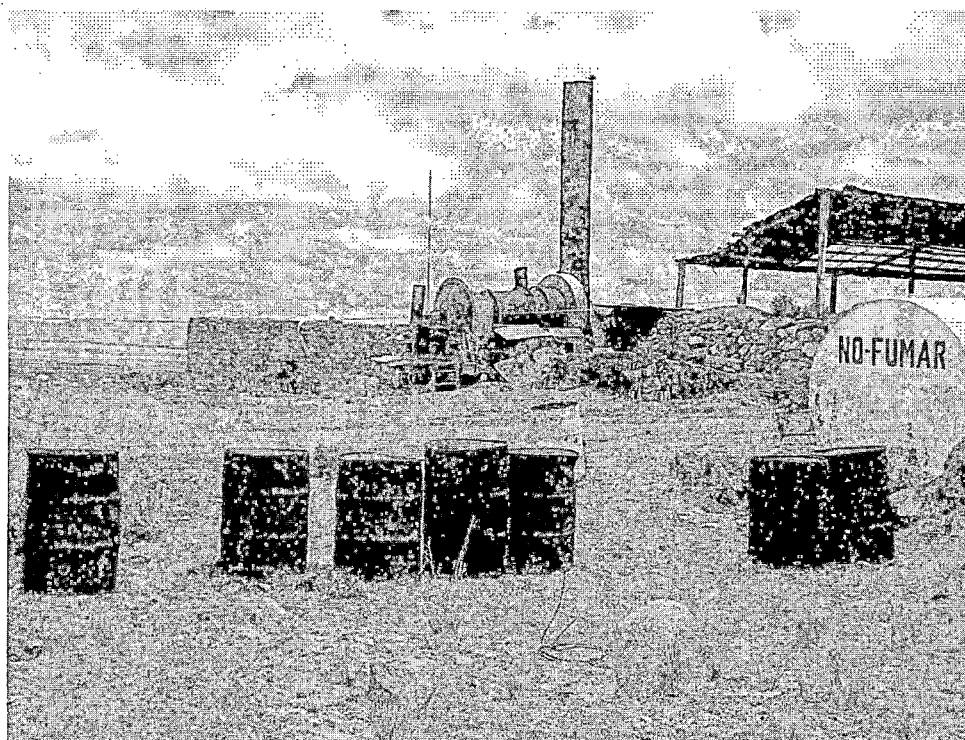


Ensayo de compresión simple.

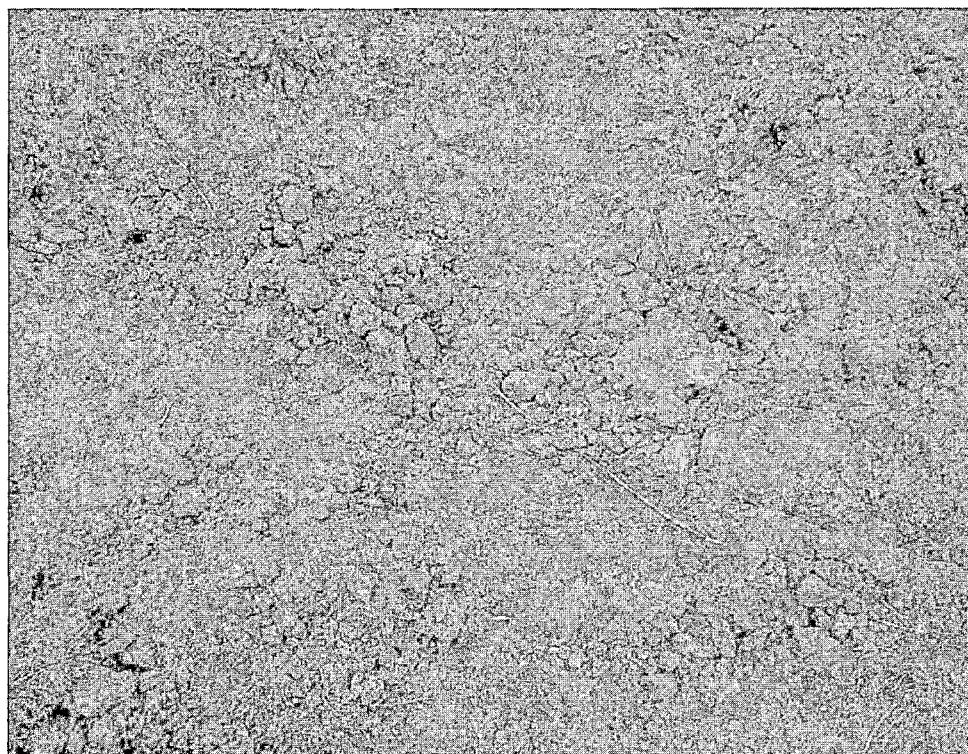


Ensayo triaxial.

Fotografías de campo.



Lugar de estudio. Patallani.



Muestra de suelo presente en el lugar de estudio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE CONTENIDO DE ACEITE Y DENSIDAD DEL ACEITE RESIDUAL

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	MUESTRA	M
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1

CONTENIDO DE ACEITE

PASOS	1	2
A: Peso del recipiente (g)	21.63	21.66
B: Peso del recipiente mas aceite residual (g)	47.93	48.62
C: Peso del recipiente mas residuos (g)	46.53	47.16
D: Peso del aceite evaporado (g): B-C	1.4	1.46
E: Peso de los sólidos y parte no evaporada (g): C-A	24.9	25.5
F: Contenido de aceite w(%): (D/E)*100	5.62%	5.73%
CONTENIDO DE ACEITE PROMEDIO w(%)	5.67%	

DENSIDAD DEL ACEITE RESIDUAL

Color del aceite residual	oscuro	negro
A: Peso del vaso con agua(gr)	145.84	145.84
B: Peso del vaso vacío (gr)	1.85	1.85
C: Peso del vaso con aceite (gr)	134.02	136.73
D: Densidad aceite (gr/cm3)	0.93	0.95
DENSIDAD PROMEDIO ACEITE RESIDUAL (gr/cm3)	0.94	

Observaciones:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD NATURAL

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	MUESTRA	M
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D - 2216)

PASOS	1	2
A: Peso del recipiente (g)	21.98	16.33
B: Peso del recipiente mas muestra húmeda (g)	63.93	55.54
C: Peso del recipiente mas muestra seca (g)	56.14	48.35
D: Peso del agua (g): B-C	7.79	7.19
E: Peso de los sólidos (g): C-A	34.16	32.02
F: Contenido de humedad w(%): (D/E)*100	22.80%	22.45%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO w(%)	22.63%	

DENSIDAD NATURAL DEL SUELO (NTP 339.139)

Método del desplazamiento del agua.

PASOS	1	2
A. Peso de la muestra de suelo (g)	69.79	81.33
B. Peso de la muestra + vacíos tapados con masilla (g)	69.79	81.33
C. Peso de la muestra + parafina (g)	74.38	85.18
D. Peso de la masa del receptor de aguas (g)	56.45	56.45
E. Peso del receptor + agua sifoneada dentro de él (g)	97.45	103.45
F. Densidad de la parafina (g/cm ³)	0.86	0.86
G. Volumen de la muestra (cm ³): (E-D)-(C-B)/F	35.66	42.52
H. Densidad de la masa (g/cm ³)	1.96	1.91
I. Contenido de humedad (w%)	0.23	0.23
J. Densidad seca (g/cm ³)	1.60	1.56
DENSIDAD SECA PROMEDIO (g/cm ³)	1.58	

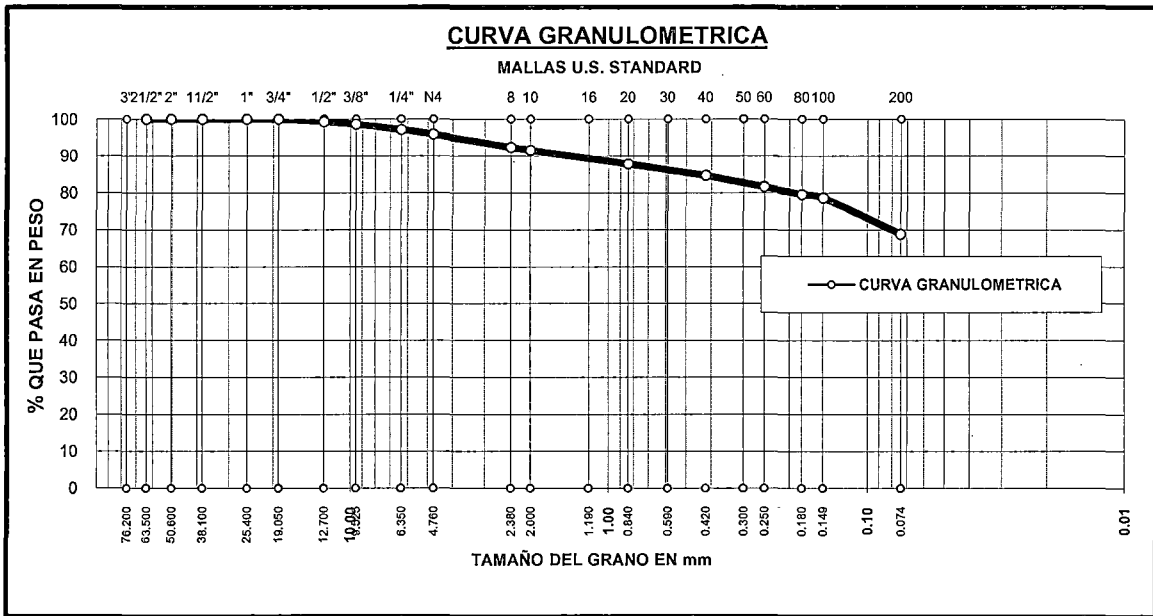




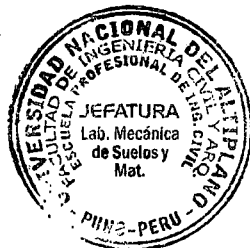
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487)

TESIS : EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO LUGAR : PUNO FECHA : ABRIL DEL 2013	EJECUTOR : Samuel HUAQUISTO CÁCERES CANTERA : Patallani PROFUN. (M) : 1.10 MUESTRA : M1
--	--

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
3"	76.200						P. I. = 1208.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		P. L. = 376.21	
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00		P. P. = 831.79	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		LIMITES DE CONSISTENCIA:	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00			L. L. = 37.86
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00			L. P. = 21.97
1/2"	12.700	7.92	0.66	0.66	99.34		I. P. = 15.90	
3/8"	9.525	8.95	0.74	1.40	98.60		CARACT. GRANULOMETRICAS:	
1/4"	6.350	17.22	1.43	2.82	97.18			D10= ---- Cu= ----
No4	4.760	15.66	1.30	4.12	95.88			D30= ---- Cc= ----
No8	2.380	42.66	3.53	7.65	92.35		CLASIFICACION:	
No10	2.000	9.74	0.81	8.46	91.54			S.U.C.S. : CL
No16	1.190							AASHTO :
No20	0.840	44.56	3.69	12.14	87.86		ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD	
No30	0.590							
No40	0.420	37.55	3.11	15.25	84.75			
No 50	0.300							
No60	0.250	37.53	3.11	18.36	81.64			
No80	0.180	24.63	2.04	20.40	79.60			
No100	0.149	11.09	0.92	21.32	78.68			
No200	0.074	118.70	9.83	31.14	68.86			
BASE		831.79	68.86	100.00	0.00			
TOTAL		1208.00	100.00					
% PERDIDA							Obs:	



OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS :	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
LUGAR :	PUNO	PROFUNDIDAD (M):	1.1
FECHA :	ABRIL DEL 2013	MUESTRA:	M1
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES	CONTENIDO ACEITE (%):	0

FICA

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D - 4318)

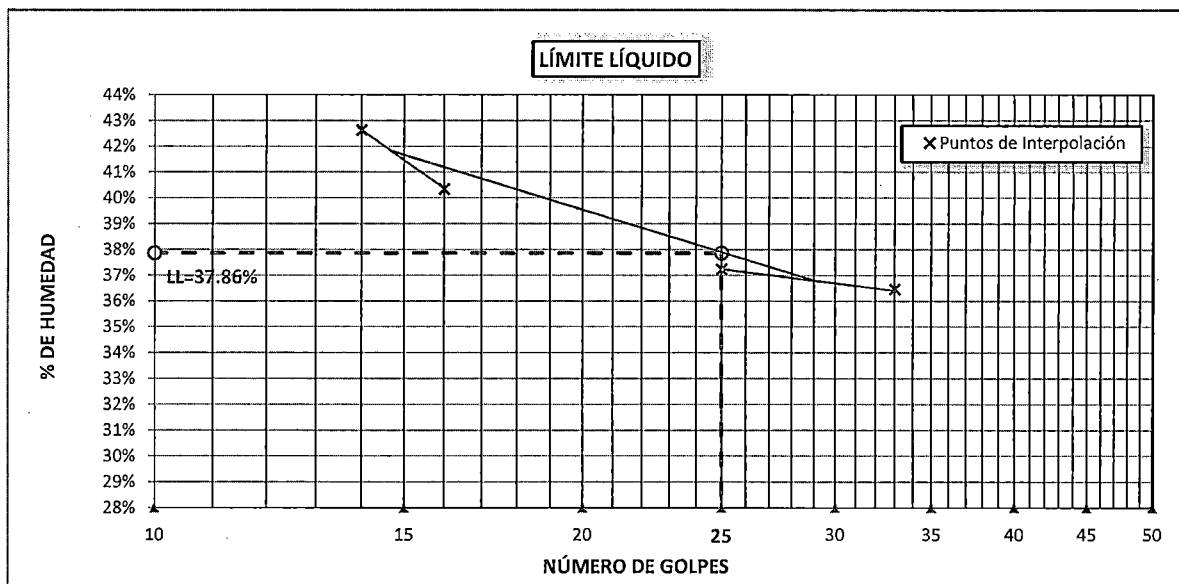
LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	Cod	A-10	A-4	A-8	M-06
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	33.91	35.55	39.28	38.88
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	30.06	31.19	34.01	33.85
AGUA + ACEITE	gr.	3.85	4.36	5.27	5.03
PESO DE LA CAPSULA	gr.	19.5	19.48	21.65	21.38
PESO DEL SUELO SECO	gr.	10.56	11.71	12.36	12.47
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0	0	0	0
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	36.46%	37.23%	42.64%	40.34%
NUMERO DE GOLPES	N	33	25	14	16

LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO	No	1	2
CAPSULA	Cod	NR-1	A-1
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	20.73	20.72
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	20.54	20.48
AGUA + ACEITE	gr.	0.19	0.24
PESO DE LA CAPSULA	gr.	19.55	19.51
PESO DEL SUELO SECO	gr.	0.99	0.97
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0	0
LÍMITE PLÁSTICO	%	19.19%	24.74%

LÍMITE LÍQUIDO	37.86
LÍMITE PLÁSTICO	21.97
INDICE DE PLASTICIDAD	15.90



OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		FICA	
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES			
EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN			
TESIS :	LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
LUGAR :	PUNO	PROFUNDIDAD (M):	1.1
FECHA :	ABRIL DEL 2013	MUESTRA:	M2
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES	CONTENIDO ACEITE (%):	2

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D - 4318)

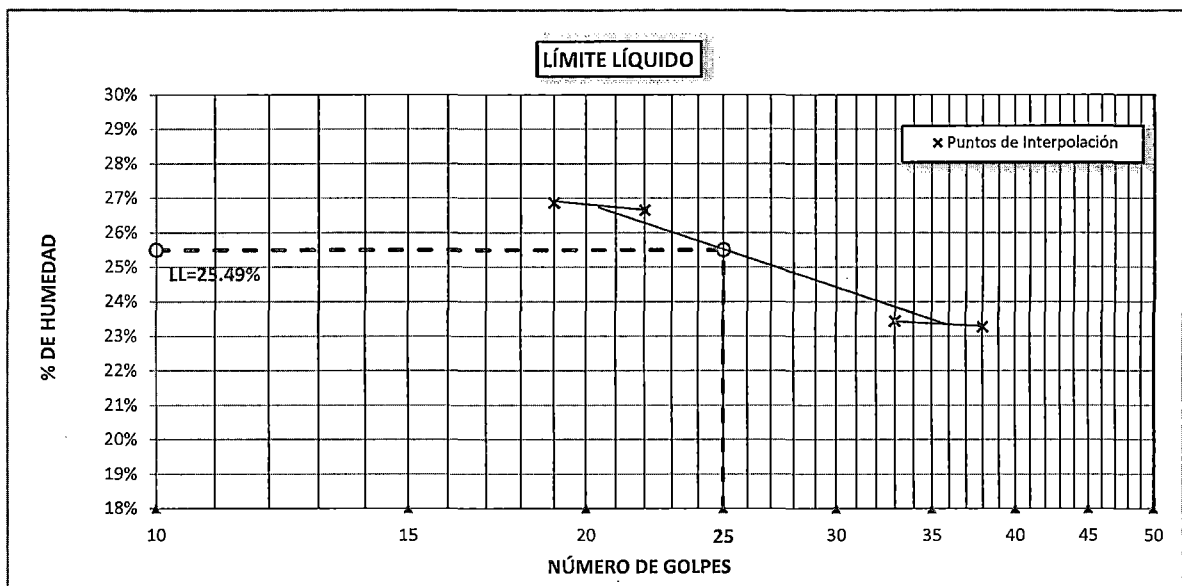
LIMITE LIQUIDO

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	Cod	T-W	A-120	B-3	A-122
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	41.5	60.55	56.01	54.1
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	36.8	52.96	47.09	46.83
AGUA + ACEITE	gr.	4.7	7.59	8.92	7.27
PESO DE LA CAPSULA	gr.	17.89	22.2	15.78	21.1
PESO DEL SUELO SECO	gr.	18.91	30.76	31.31	25.73
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.27	0.43	0.51	0.41
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	23.45%	23.28%	26.87%	26.65%
NUMERO DE GOLPES	N	33	38	19	22

LIMITE PLASTICO


ENSAYO	No	1	2
CAPSULA	Cod	NR-1	A-1
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	20.78	20.72
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	20.66	20.52
AGUA + ACEITE	gr.	0.12	0.2
PESO DE LA CAPSULA	gr.	20.07	19.51
PESO DEL SUELO SECO	gr.	0.59	1.01
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.01	0.01
LIMITE PLASTICO	%	19.19%	18.68%

LIMITE LIQUIDO	25.49
LIMITE PLASTICO	18.93
INDICE DE PLASTICIDAD	6.56



OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO				 
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES				
TESIS :	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
LUGAR :	PUNO	PROFUNDIDAD (M):	1.1	
FECHA :	ABRIL DEL 2013	MUESTRA:	M3	
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES	CONTENIDO ACEITE (%):	4	

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D - 4318)

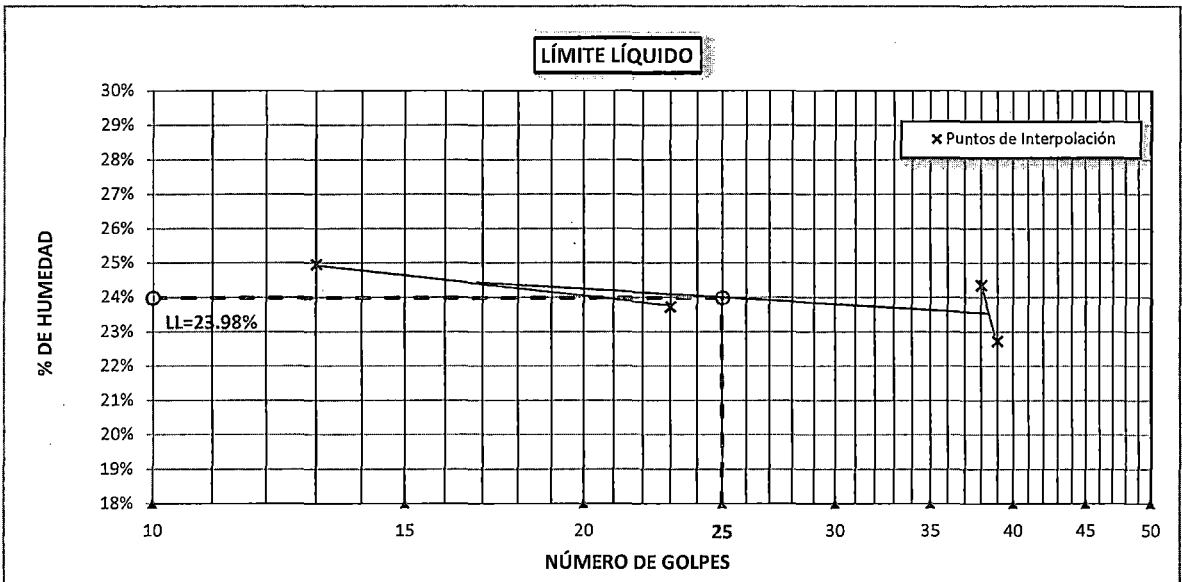
LÍMITE LIQUIDO

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	Cod	J-2	T-4	SN	J-1
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	29.34	31.66	26.71	22.37
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	27.88	29.68	25.04	21.19
AGUA + ACEITE	gr.	1.46	1.98	1.67	1.18
PESO DE LA CAPSULA	gr.	21.82	22.01	18.4	16.73
PESO DEL SUELO SECO	gr.	6.06	7.67	6.64	4.46
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.08	0.11	0.09	0.07
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	22.73%	24.35%	23.72%	24.96%
NUMERO DE GOLPES	N	39	38	23	13

LÍMITE PLASTICO

ENSAYO	No	1	2
CAPSULA	Cod	E	H-12
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	25.45	21.69
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	24.91	20.95
AGUA + ACEITE	gr.	0.54	0.74
PESO DE LA CAPSULA	gr.	21.68	16.58
PESO DEL SUELO SECO	gr.	3.23	4.37
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.03	0.04
LÍMITE PLASTICO	%	15.77%	15.97%

LÍMITE LIQUIDO	23.98
LÍMITE PLASTICO	15.87
INDICE DE PLASTICIDAD	8.11



OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES



TESIS : EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN
LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO

LUGAR : PUNO PROFUNDIDAD (M): 1.1

FECHA : ABRIL DEL 2013 MUESTRA: M4

EJECUTOR: Samuel HUAQUISTO CÁCERES CONTENIDO ACEITE (%): 6

FICA

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D - 4318)

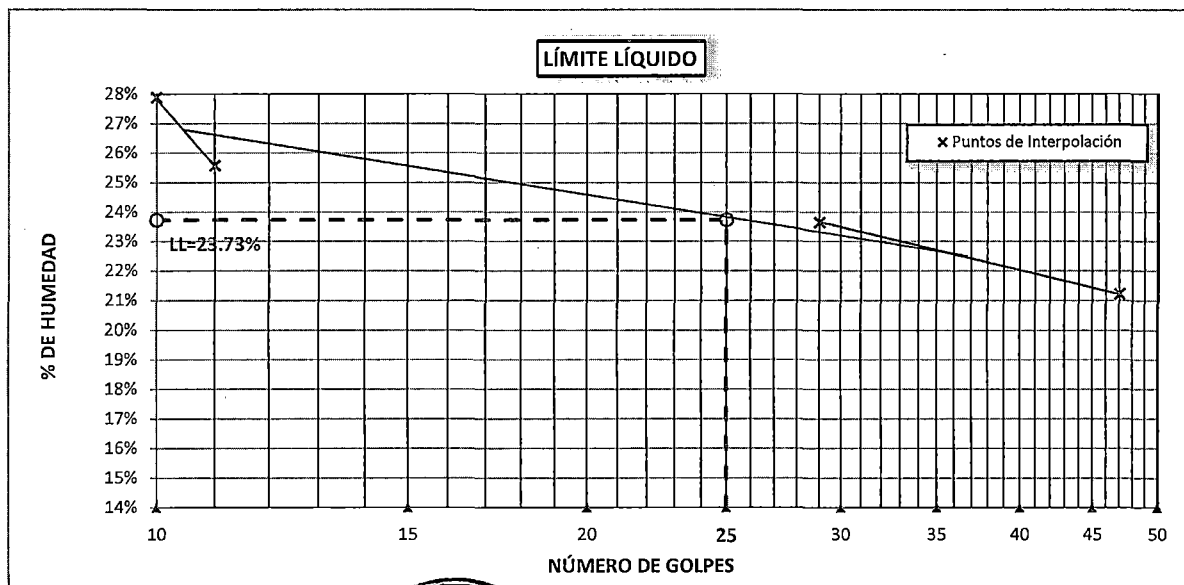
LIMITE LIQUIDO

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	Cod	F-12	L	BA-62	T-7
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	65.89	76.15	61.21	28.57
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	59.71	67.12	55.15	25.97
AGUA + ACEITE	gr.	6.18	9.03	6.06	2.6
PESO DE LA CAPSULA	gr.	32.24	36.58	30.98	16.38
PESO DEL SUELO SECO	gr.	27.47	30.54	24.17	9.59
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.35	0.51	0.34	0.15
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	21.22%	27.89%	23.65%	25.57%
NUMERO DE GOLPES	N	47	10	29	11

LIMITE PLASTICO


ENSAYO	No	1	2
CAPSULA	Cod	R-2	A-3
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	20.31	20.71
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	19.28	20.54
AGUA + ACEITE	gr.	1.03	0.17
PESO DE LA CAPSULA	gr.	13.29	19.51
PESO DEL SUELO SECO	gr.	5.99	1.03
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.06	0.01
LIMITE PLASTICO	%	16.22%	15.57%

LIMITE LIQUIDO	23.73
LIMITE PLASTICO	15.89
INDICE DE PLASTICIDAD	7.83



OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		 FICA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES		EFEECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
TESIS :				
LUGAR :	PUNO	PROFUNDIDAD (M):	1.1	
FECHA :	ABRIL DEL 2013	MUESTRA:	M5	
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES	CONTENIDO ACEITE (%):	8	

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D - 4318)

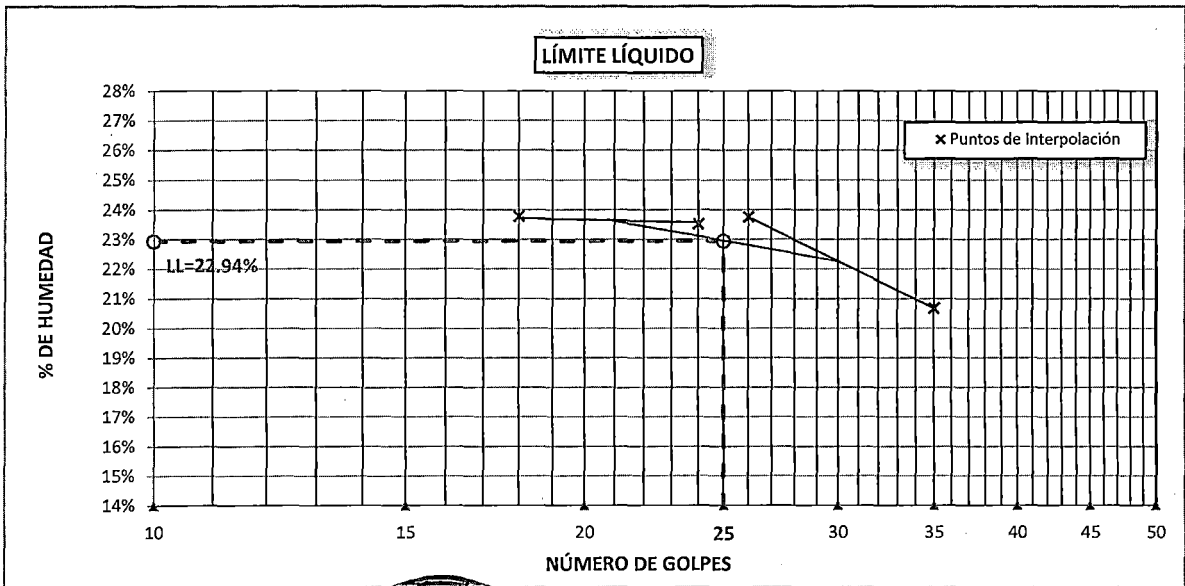
LIMITE LIQUIDO

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	Cod	T-5	T-8	T-102	T-1
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	36.88	30.4	29.44	23.39
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	33.2	27.89	26.79	22.18
AGUA + ACEITE	gr.	3.68	2.51	2.65	1.21
PESO DE LA CAPSULA	gr.	18.6	17.82	16.27	16.66
PESO DEL SUELO SECO	gr.	14.6	10.07	10.52	5.52
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.21	0.14	0.15	0.07
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	23.78%	23.51%	23.76%	20.68%
NUMERO DE GOLPES	N	18	24	26	35

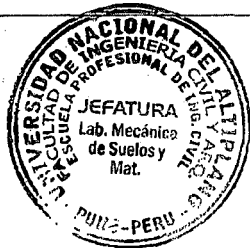
LIMITE PLASTICO

ENSAYO	No	1	2
CAPSULA	Cod	T-3	BA-2
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	35.3	35.41
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	34.9	34.74
AGUA + ACEITE	gr.	0.4	0.67
PESO DE LA CAPSULA	gr.	32.45	30.9
PESO DEL SUELO SECO	gr.	2.45	3.84
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.02	0.04
LIMITE PLASTICO	%	15.40%	13.65%

LIMITE LIQUIDO	22.94
LIMITE PLASTICO	14.52
INDICE DE PLASTICIDAD	8.41



OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES		EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
TESIS :				
LUGAR :	PUNO	PROFUNDIDAD (M):	1.1	FICA
FECHA :	ABRIL DEL 2013	MUESTRA:	M6	
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES	CONTENIDO ACEITE (%):	10	

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D - 4318)

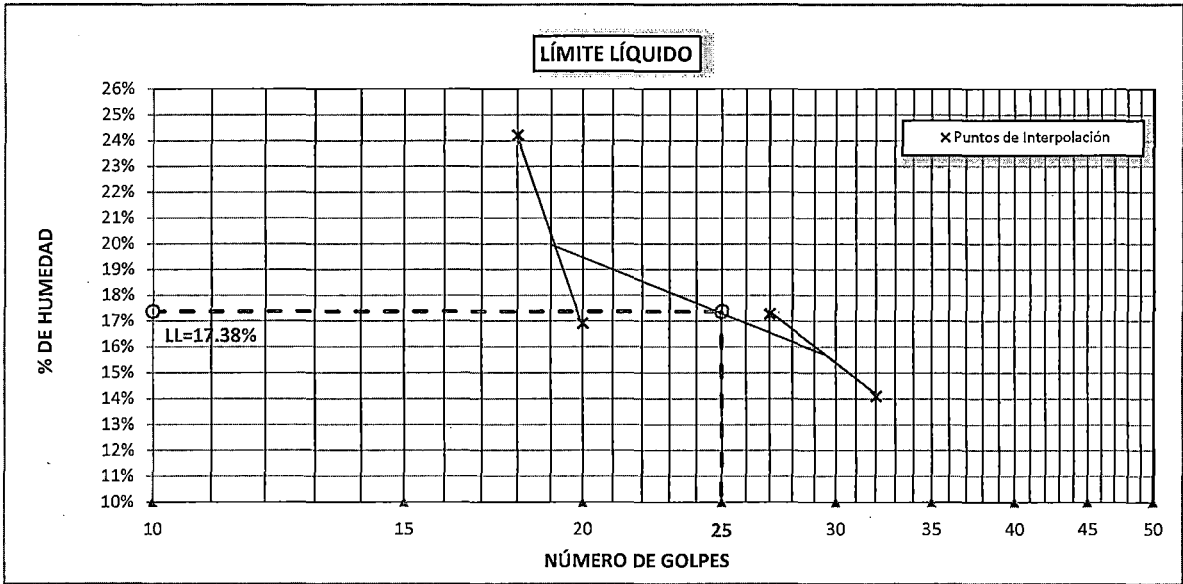
LIMITE LIQUIDO

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	Cod	B-2	T-1	A-8	M-06
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	28.4	21.93	30.45	43.19
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	26.84	20.62	28.83	40.9
AGUA + ACEITE	gr.	1.56	1.31	1.62	2.29
PESO DE LA CAPSULA	gr.	16.4	13.47	19.8	31.98
PESO DEL SUELO SECO	gr.	10.44	7.15	9.03	8.92
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.09	0.07	0.09	0.13
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	14.10%	17.28%	16.92%	24.22%
NUMERO DE GOLPES	N	32	27	20	18

LIMITE PLASTICO

ENSAYO	No	1	2
CAPSULA	Cod	T-11	B-19
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	33.45	35.92
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	33.25	35.87
AGUA + ACEITE	gr.	0.2	0.05
PESO DE LA CAPSULA	gr.	31.97	35.5
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.28	0.37
CORRECCIÓN POR ACEITE	gr.	0.01	0.00
LIMITE PLASTICO	%	14.74%	12.75%

LIMITE LIQUIDO	17.38
LIMITE PLASTICO	13.74
INDICE DE PLASTICIDAD	3.63



OBSERVACIONES:





**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR
(ASTM D 1557)**

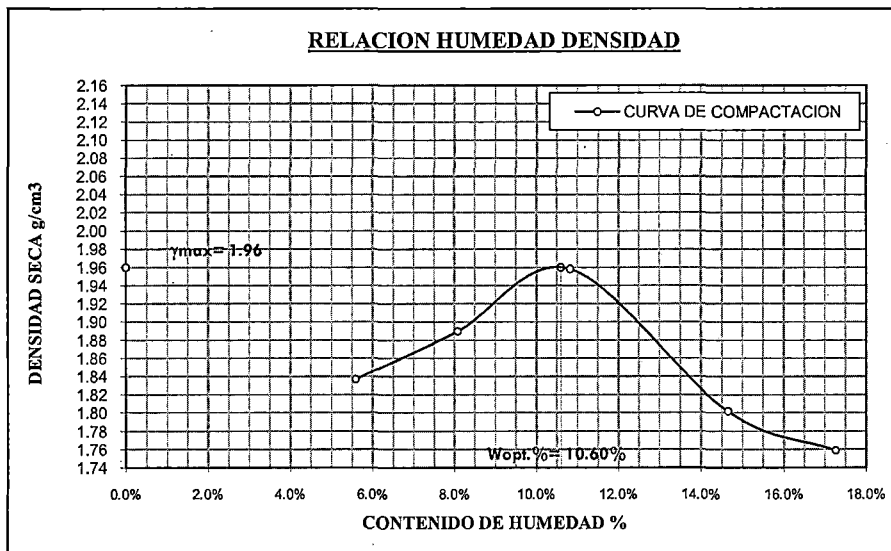
TESIS :	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LAS PROPOEDADES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO				
CANTERA :	PATALLANI	PROFUNDIDAD :	1.1 M		
LUGAR :	PUNO	CONTENIDO ACEITE (%) :	0		
FECHA :	ABRIL DEL 2013	EJECUTOR :	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE (V)	2050.50	2113.99 cc	
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56		

PUNTOS		1	2	3	4	5
A. Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10217	10428	10690	10702	10695
B. Peso del Molde	gr.	6240	6240	6240	6335	6335
C. Peso del Suelo Humedo:	gr/cc.	3977	4188	4450	4367	4360
D. Densidad del Suelo Humedo:	gr/cc	1.94	2.04	2.17	2.07	2.06

CAPSULA	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E. Suelo Humedo + Capsula	gr.	48.79	55.86	41.67	41.17	54.80	51.19	34.11	37.81	58.69	56.41
F. Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	47.07	54.10	40.18	39.40	50.77	48.52	31.45	34.53	52.95	51.26
G. Peso del Agua:	gr.	1.72	1.76	1.49	1.77	4.03	2.67	2.66	3.28	5.74	5.15
H. Peso de la Capsula	gr.	17.00	21.83	21.62	17.63	16.59	21.45	12.95	12.53	19.50	21.61
I. Peso del Suelo Seco:	gr.	30.07	32.27	18.56	21.77	34.18	27.07	18.50	22.00	33.45	29.65
J. Contenido de Humedad w(%):	%	5.72%	5.45%	8.03%	8.13%	11.79%	9.86%	14.38%	14.91%	17.16%	17.37%
Corrección por aceite	gr.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K. Promedio de Humedad	%	5.59%		8.08%		10.83%		14.64%		17.26%	
L. Densidad Suelo Seco γd:	gr/cc	1.837		1.890		1.958		1.802		1.759	

METODO : MODIFICADO C

MAXIMA DENSIDAD SECA :	1.96 gr/cc
HUMEDAD OPTIMA :	10.60%



OBSERVACIONES:





**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR
(ASTM D 1557)**

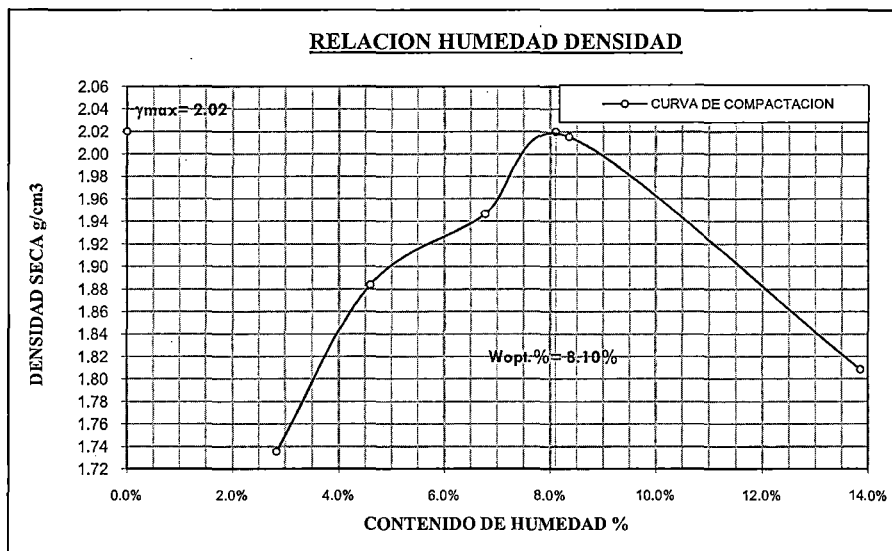
TESIS	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LAS PROPOEDADES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO				
CANTERA	PATALLANI	PROFUNDIDAD	1.1 M		
LUGAR	PUNO	CONTENIDO ACEITE (%)	2		
FECHA	ABRIL DEL 2013	EJECUTOR	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE (V)	2032.22 cc		
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56		

PUNTOS		1	2	3	4	5
A. Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9987	10364	10584	10798	10684
B. Peso del Molde	gr.	6360	6360	6360	6360	6360
C. Peso del Suelo Humedo:	gr/cc.	3627	4004	4224	4438	4324
D. Densidad del Suelo Humedo:	gr/cc	1.78	1.97	2.08	2.18	2.06

CAPSULA	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E. Suelo Humedo + Capsula	gr.	42.94	35.93	42.17	44.41	38.13	40.73	41.01	34.98	41.35	41.20
F. Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	42.27	35.30	41.09	43.06	36.61	39.15	39.07	33.26	38.12	38.12
G. Peso del Agua:	gr.	0.67	0.63	1.08	1.35	1.52	1.58	1.94	1.72	3.23	3.08
H. Peso de la Capsula	gr.	17.65	16.18	18.01	16.33	15.79	16.80	17.21	13.79	16.05	17.23
I. Peso del Suelo Seco:	gr.	24.62	19.12	23.08	26.73	20.82	22.35	21.86	19.47	22.07	20.89
J. Contenido de Humedad w(%):	%	2.57%	3.11%	4.41%	4.76%	6.89%	6.67%	8.37%	8.33%	13.81%	13.91%
Corrección por aceite	gr.	0.04	0.04	0.06	0.08	0.09	0.09	0.11	0.10	0.18	0.17
K. Promedio de Humedad	%	2.84%		4.59%		6.78%		8.35%		13.86%	
L. Densidad Suelo Seco γd:	gr/cc	1.736		1.884		1.947		2.015		1.808	

METODO : MODIFICADO C

MAXIMA DENSIDAD SECA : 2.02 gr/cc
HUMEDAD OPTIMA : 8.10%



OBSERVACIONES:





**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR
(ASTM D 1557)**

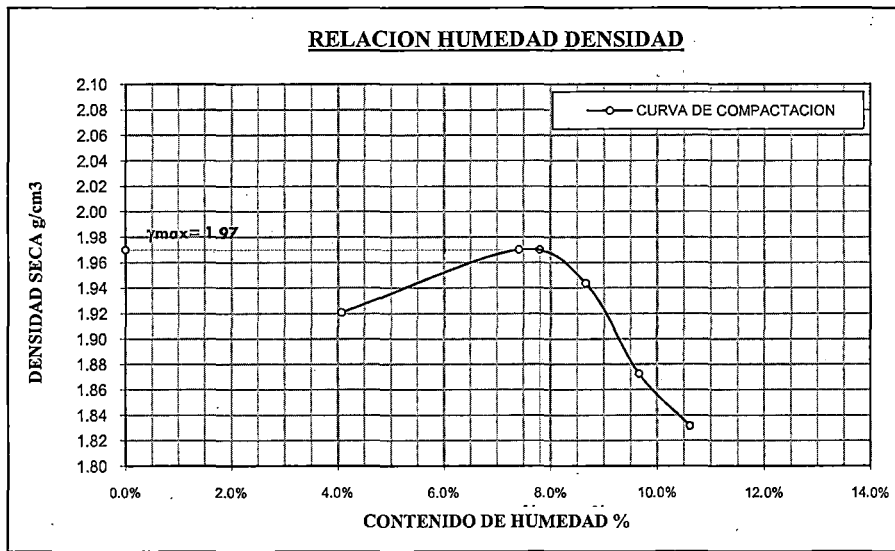
TESIS :	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LAS PROPOEDADES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO				
CANTERA :	PATALLANI	PROFUNDIDAD :	1.1 M		
LUGAR :	PUNO	CONTENIDO ACEITE (%):	4		
FECHA :	ABRIL DEL 2013	EJECUTOR :	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE (V)	2203.00 cc		
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56		

PUNTOS		1	2	3	4	5
A. Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10623	10881	10872	10743	10682
B. Peso del Molde	gr.	6219	6219	6219	6219	6219
C. Peso del Suelo Humedo:	gr/cc.	4404	4662	4653	4524	4463
D. Densidad del Suelo Humedo:	gr/cc	2.00	2.12	2.11	2.05	2.03

CAPSULA	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E. Suelo Humedo + Capsula	gr.	94.75	83.23	128.39	118.48	76.86	75.45	242.61	149.86	87.72	96.75
F. Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	91.45	82.14	119.85	113.02	71.93	71.16	229.86	139.23	82.29	90.55
G. Peso del Agua:	gr.	3.30	1.09	8.54	5.46	4.93	4.29	12.75	10.63	5.43	6.20
H. Peso de la Capsula	gr.	32.86	45.69	31.98	22.04	18.96	23.75	101.56	38.45	35.47	33.68
I. Peso del Suelo Seco:	gr.	58.59	36.45	87.87	90.98	52.97	47.41	128.30	100.78	46.82	56.87
J. Contenido de Humedad w(%):	%	5.31%	2.82%	9.17%	5.66%	8.78%	8.54%	9.37%	9.95%	10.94%	10.28%
Corrección por aceite	gr.	0.19	0.06	0.48	0.31	0.28	0.24	0.72	0.60	0.31	0.35
K. Promedio de Humedad	%	4.07%		7.41%		8.66%		9.66%		10.61%	
L. Densidad Suelo Seco yd:	gr/cc	1.921		1.970		1.944		1.873		1.832	

METODO : MODIFICADO C

MAXIMA DENSIDAD SECA :	1.97 gr/cc
HUMEDAD OPTIMA :	7.80%



OBSERVACIONES:





**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR
 (ASTM D 1557)**

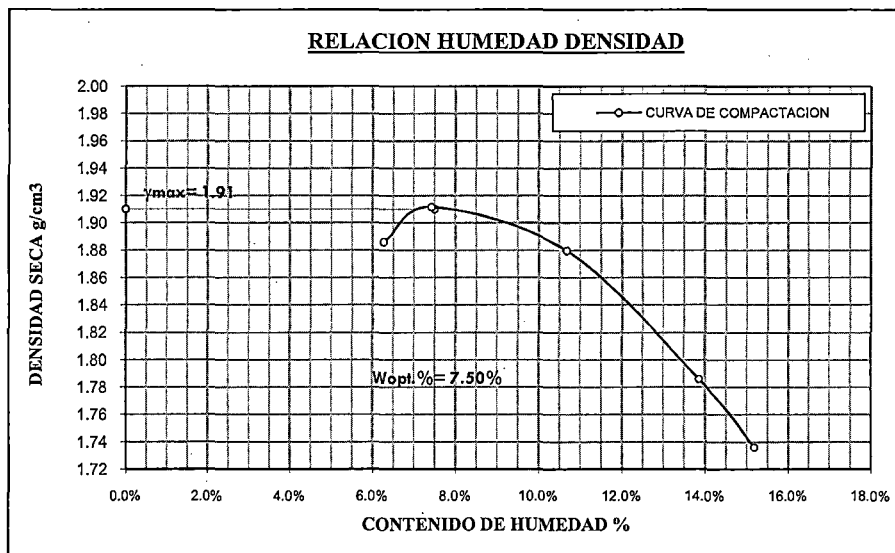
TESIS :	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LAS PROPOEDADES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO				
CANTERA :	PATALLANI	PROFUNDIDAD :	1.1 M		
LUGAR :	PUNO	CONTENIDO ACEITE (%) :	6		
FECHA :	ABRIL DEL 2013	EJECUTOR :	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE (V)	2127.91 cc		
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56		

PUNTOS		1	2	3	4	5
A. Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10625	10730	10787	10687	10615
B. Peso del Molde	gr.	6360	6360	6360	6360	6360
C. Peso del Suelo Humedo:	gr/cc.	4265	4370	4427	4327	4255
D. Densidad del Suelo Humedo:	gr/cc	2.00	2.05	2.08	2.03	2.00

CAPSULA	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E. Suelo Humedo + Capsula	gr.	62.78	70.8	107.12	72.16	83.72	95.45	104.22	87.53	106.13	121.79
F. Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	60.12	68.6	101.27	68.27	76.76	88.14	93.73	78.74	94.28	107.74
G. Peso del Agua:	gr.	2.66	2.20	5.85	3.89	6.96	7.31	10.49	8.79	11.85	14.05
H. Peso de la Capsula	gr.	24.56	30.73	30.31	16.45	16.82	21.88	21.65	19.50	19.80	21.42
I. Peso del Suelo Seco:	gr.	35.56	37.87	70.96	51.82	59.94	66.26	72.08	59.24	74.48	86.32
J. Contenido de Humedad w(%):	%	7.06%	5.48%	7.78%	7.08%	10.95%	10.41%	13.73%	14.00%	15.01%	15.35%
Corrección por aceite	gr.	0.15	0.12	0.33	0.22	0.39	0.41	0.59	0.50	0.67	0.80
K. Promedio de Humedad	%	6.27%		7.43%		10.68%		13.86%		15.18%	
L. Densidad Suelo Seco yd:	gr/cc	1.886		1.912		1.880		1.786		1.736	

METODO : MODIFICADO C

MAXIMA DENSIDAD SECA : 1.91 gr/cc
 HUMEDAD OPTIMA : 7.50%



OBSERVACIONES:





**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR
 (ASTM D 1557)**

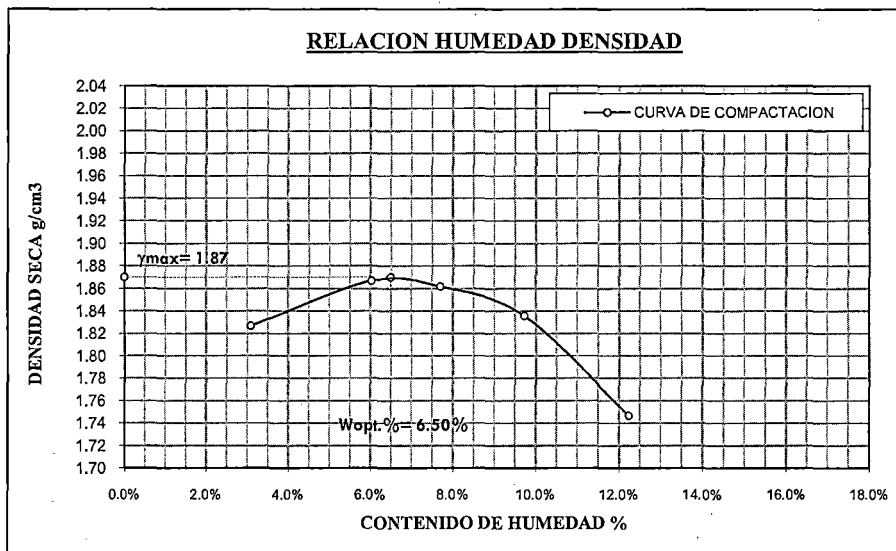
TESIS :	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LAS PROPOEDADES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO				
CANTERA :	PATALLANI	PROFUNDIDAD :	1.1 M		
LUGAR :	PUNO	CONTENIDO ACEITE (%) :	8		
FECHA :	ABRIL DEL 2013	EJECUTOR :	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE (V)	2089.46 cc		
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56		

PUNTOS		1	2	3	4	5
A. Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10258	10459	10513	10532	10440
B. Peso del Molde	gr.	6323	6323	6323	6323	6323
C. Peso del Suelo Humedo:	gr/cc.	3935	4136	4190	4209	4117
D. Densidad del Suelo Humedo:	gr/cc	1.88	1.98	2.01	2.01	1.96

CAPSULA	No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E. Suelo Humedo + Capsula	gr.	75.51	73.69	61.63	61.40	58.42	58.07	62.90	69.55	70.13	65.50
F. Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	73.89	71.77	59.40	58.91	55.28	55.03	58.84	64.24	64.48	60.66
G. Peso del Agua:	gr.	1.62	1.92	2.23	2.49	3.14	3.04	4.06	5.31	5.65	4.84
H. Peso de la Capsula	gr.	21.59	16.09	22.23	22.21	17.79	16.84	16.84	15.79	22.23	22.21
I. Peso del Suelo Seco:	gr.	52.30	55.68	37.17	36.70	37.49	38.19	42.00	48.45	42.25	38.45
J. Contenido de Humedad w(%) :	%	2.92%	3.25%	5.66%	6.40%	7.90%	7.51%	9.12%	10.34%	12.61%	11.87%
Corrección por aceite	gr.	0.09	0.11	0.13	0.14	0.18	0.17	0.23	0.30	0.32	0.27
K. Promedio de Humedad	%	3.09%		6.03%		7.70%		9.73%		12.24%	
L. Densidad Suelo Seco yd:	gr/cc	1.827		1.867		1.862		1.836		1.747	

METODO : MODIFICADO C

MAXIMA DENSIDAD SECA : 1.87 gr/cc
 HUMEDAD OPTIMA : 6.50%



OBSERVACIONES:





**RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR
(ASTM D 1557)**

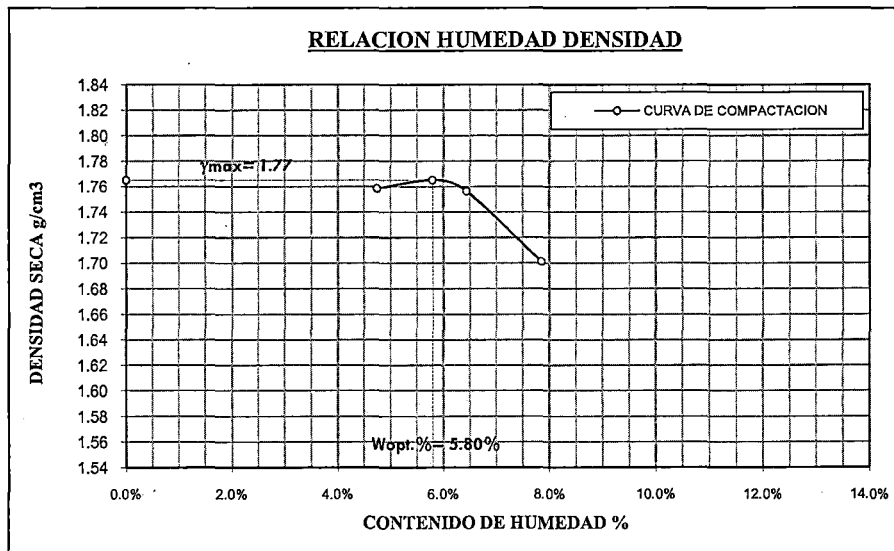
TESIS :	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LAS PROPOEDADES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
CANTERA :	PATALLANI	PROFUNDIDAD :	1.1 M
LUGAR :	PUNO	CONTENIDO ACEITE (%) :	10
FECHA :	ABRIL DEL 2013	EJECUTOR :	Samuel HUAQUISTO CÁCERES
MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE (V)	2103.24 cc
NO DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

PUNTOS		1	2	3	4
A. Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10308	10362	10366	10293
B. Peso del Molde	gr.	6434	6434	6434	6434
C. Peso del Suelo Humedo:	gr/cc.	3874	3928	3932	3859
D. Densidad del Suelo Humedo:	gr/cc	1.84	1.87	1.87	1.83

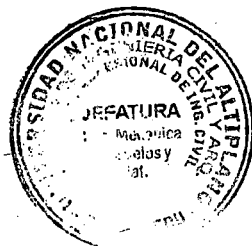
CAPSULA	No	1	2	3	4	5	6	7	8
E. Suelo Humedo + Capsula	gr.	62.50	61.50	54.45	53.62	55.30	69.15	59.48	81.42
F. Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	60.60	59.12	52.49	51.23	52.75	65.90	56.13	76.92
G. Peso del Agua:	gr.	1.90	2.38	1.96	2.39	2.55	3.25	3.35	4.50
H. Peso de la Capsula	gr.	17.80	16.83	15.78	16.84	17.00	16.09	16.33	22.22
I. Peso del Suelo Seco:	gr.	42.80	42.29	36.71	34.39	35.75	49.81	39.80	54.70
J. Contenido de Humedad w(%):	%	4.19%	5.31%	5.04%	6.56%	6.73%	6.15%	7.94%	7.76%
Corrección por aceite	gr.	0.11	0.13	0.11	0.14	0.14	0.18	0.19	0.26
K. Promedio de Humedad	%	4.75%		5.80%		6.44%		7.85%	
L. Densidad Suelo Seco yd:	gr/cc	1.758		1.765		1.756		1.701	

METODO : MODIFICADO C

MAXIMA DENSIDAD SECA : 1.77 gr/cc
HUMEDAD OPTIMA : 5.80%



OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE

ASTM D5084

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	MUESTRA	M1
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
Contenido de aceite (%)	0	Estado de suelo	Inalterada Remoldeada
			X
CONTENIDO HUMEDAD (%)	19.54	PESO DE MUESTRA SECA (g)	973.66
ALTURA Lo (cm)	14.27	DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.70
DIAMETRO (cm)	7.14	DIAMETRO. BURETA (cm)	1.2
AREA Ao (cm2)	40.04	AREA SECCIÓN BURETA (cm2)	1.13
VOLUMEN (cm3)	571.36	DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)	2.04

Exp. Nº	h1(cm)	h2(cm)	Tiempo(S)	T(°C)	k(cm/s)	Correc. nt/n20	k20(cm/s)
1	80	74.2	30	15	1.011E-03	1.135	1.148E-03
2	80	74.1	30	15	1.029E-03	1.135	1.168E-03
3	80	73.8	30	15	1.084E-03	1.135	1.230E-03
4	80	74.0	30	15	1.047E-03	1.135	1.189E-03
Promedio					1.043E-03		1.184E-03

Valor promedio de permeabilidad a 20°C 1.184E-03 cm/s

Observaciones: Realizado en equipo fabricado en laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE

ASTM D5084

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	MUESTRA	M2
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
Contenido de aceite (%)	2	Estado de suelo	Inalterada
			Remoldeada
			X
CONTENIDO HUMEDAD (%)	18.64	PESO DE MUESTRA SECA (g)	980.20
ALTURA Lo (cm)	14.27	DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.72
DIAMETRO (cm)	7.14	DIAMETRO BURETA (cm)	1.3
ÁREA Ao (cm2)	40.04	ÁREA SECCIÓN BURETA (cm2)	1.33
VOLUMEN (cm3)	571.36	DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)	2.04

Exp. Nº	h1(cm)	h2(cm)	Tiempo(S)	T(°C)	k(cm/s)	Correc. nt/n20	k20(cm/s)
1	60	50	194	13	4.446E-04	1.197	5.322E-04
2	50	40	212	13	4.979E-04	1.197	5.960E-04
3	40	30	236	13	5.767E-04	1.197	6.903E-04
4	30	20	340	13	5.641E-04	1.197	6.753E-04
Promedio					5.208E-04		6.234E-04

Valor promedio de permeabilidad a 20°C

6.234E-04 cm/s

Observaciones:

Realizado en equipo fabricado en laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE

ASTM D5084

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	MUESTRA	M3
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
Contenido de aceite (%)	4	Estado de suelo	Inalterada
			Remoldeada
CONTENIDO HUMEDAD (%)	16.9	PESO DE MUESTRA SECA (g)	967.45
ALTURA Lo (cm)	14.27	DENSIDAD SECA (g/cm³)	1.69
DIAMETRO (cm)	7.14	DIAMETRO BURETA (cm)	1.3
AREA Ao (cm²)	40.04	AREA SECCIÓN BURETA (cm²)	1.33
VOLUMEN (cm³)	571.36	DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³)	1.98

Exp. Nº	h1(cm)	h2(cm)	Tiempo(S)	T(°C)	k(cm/s)	Correc. nt/n20	k20(cm/s)
1	70	60	356	14	2.048E-04	1.165	2.386E-04
2	60	50	408	14	2.114E-04	1.165	2.463E-04
3	50	40	512	14	2.062E-04	1.165	2.402E-04
4	40	30	623	14	2.184E-04	1.165	2.545E-04
Promedio					2.102E-04		2.449E-04

Valor promedio de permeabilidad a 20°C 2.449E-04 cm/s

Observaciones: Realizado en equipo fabricado en laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE

ASTM D5084

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	MUESTRA	M4
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
Contenido de aceite (%)	6	Estado de suelo	Inalterada Remoldeada
			X
CONTENIDO HUMEDAD (%)	16.1	PESO DE MUESTRA SECA (g)	948.76
ALTURA Lo (cm)	14.27	DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.66
DIAMETRO (cm)	7.14	DIAMETRO BURETA (cm)	1.3
AREA Ao (cm2)	40.04	AREA SECCIÓN BURETA (cm2)	1.33
VOLUMEN (cm3)	571.36	DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)	1.93

Exp. Nº	h1(cm)	h2(cm)	Tiempo(S)	T(°C)	k(cm/s)	Correc. nt/n20	k20(cm/s)
1	80	70	461	10	1.370E-04	1.301	1.783E-04
2	70	60	562	10	1.298E-04	1.301	1.688E-04
3	60	50	653	10	1.321E-04	1.301	1.718E-04
4	50	40	767	10	1.376E-04	1.301	1.791E-04
Promedio					1.341E-04		1.745E-04

Valor promedio de permeabilidad a 20°C 1.745E-04 cm/s

Observaciones: Realizado en equipo fabricado en laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE

ASTM D5084

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	MUESTRA	M5
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
Contenido de aceite (%)	8	Estado de suelo	Inalterada
			Remoldeada
			X
CONTENIDO HUMEDAD (%)	14.6	PESO DE MUESTRA SECA(g)	946.34
ALTURA Lo (cm)	14.27	DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.66
DIAMETRO (cm)	7.14	DIAMETRO BURETA (cm)	1.3
AREA Ao (cm2)	40.04	AREA SECCIÓN BURETA (cm2)	1.33
VOLUMEN (cm3)	571.36	DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)	1.90

Exp. Nº	h1(cm)	h2(cm)	Tiempo(S)	T(°C)	k(cm/s)	Correc. nt/n20	k20(cm/s)
1	90	80	587	14	9.492E-05	1.165	1.106E-04
2	80	70	710	14	8.897E-05	1.165	1.036E-04
3	70	60	756	14	9.646E-05	1.165	1.124E-04
4	60	50	849	14	1.016E-04	1.165	1.184E-04
Promedio					9.548E-05		1.112E-04

Valor promedio de permeabilidad a 20°C

1.112E-04 cm/s

Observaciones:

Realizado en equipo fabricado en laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE PERMEABILIDAD CARGA VARIABLE

ASTM D5084

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	MUESTRA	M6
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
Contenido de aceite (%)	10	Estado de suelo	Inalterada
			Remoldeada
CONTENIDO HUMEDAD (%)	12.5	PESO DE MUESTRA SECA (g)	941.73
ALTURA Lo (cm)	14.27	DENSIDAD SECA (g/cm3)	1.65
DIAMETRO (cm)	7.14	DIAMETRO BURETA (cm)	1.3
AREA Ao (cm2)	40.04	AREA SECCIÓN BURETA (cm2)	1.33
VOLUMEN (cm3)	571.36	DENSIDAD HÚMEDA (g/cm3)	1.85

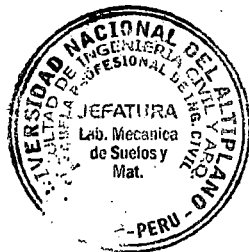
Exp. Nº	h1(cm)	h2(cm)	Tiempo(S)	T(°C)	k(cm/s)	Correc. nt/n20	k20(cm/s)
1	90	80	657	13	8.481E-05	1.197	1.015E-04
2	80	70	772	13	8.182E-05	1.197	9.794E-05
3	70	60	871	13	8.372E-05	1.197	1.002E-04
4	60	50	1088	13	7.927E-05	1.197	9.489E-05
Promedio					8.241E-05		9.864E-05

Valor promedio de permeabilidad a 20°C

9.864E-05 cm/s

Observaciones:

Realizado en equipo fabricado en laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	0
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	10.86	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1221.00	Muestra Remoldeada	X
ALTURA Lo(cm)	14.21	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.14
DIAMETRO (cm)	7.15	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	40.152	ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	40.15	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	40.22	0.310	31.60	77.07	0.79
0.50	0.35	40.29	0.420	42.81	104.23	1.06
0.75	0.53	40.37	0.550	56.07	136.26	1.39
1.00	0.70	40.44	0.700	71.36	173.11	1.76
1.50	1.06	40.58	1.050	107.03	258.75	2.64
2.00	1.41	40.73	1.310	133.54	321.67	3.28
2.50	1.76	40.87	1.560	159.02	381.69	3.89
3.00	2.11	41.02	1.790	182.47	436.39	4.45
3.50	2.46	41.17	1.980	201.83	480.98	4.90
4.00	2.81	41.31	2.150	219.16	520.39	5.30
5.00	3.52	41.62	2.280	232.42	547.86	5.58
6.00	4.22	41.92	2.220	226.30	529.55	5.40
7.00	4.93	42.23	2.130	217.13	504.35	5.14
8.00	5.63	42.55				
9.00	6.33	42.87				
10.00	7.04	43.19				
11.00	7.74	43.52				
12.00	8.44	43.86				
13.00	9.15	44.20				
14.00	9.85	44.54				
15.00	10.56	44.89				
16.00	11.26	45.25				
17.00	11.96	45.61				
18.00	12.67	45.98				
19.00	13.37	46.35				
20.00	14.07	46.73				

Observaciones:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	0
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	10.46	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1225.00	Muestra Remoldeada	X
ALTURA Lo(cm)	14.21	DENSIDAD HUMEDA (g/cm ³)	2.15
DIAMETRO (cm)	7.15	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm ²)	40.152	ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	40.15	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	40.22	0.210	21.41	52.21	0.53
0.50	0.35	40.29	0.430	43.83	106.72	1.09
0.75	0.53	40.37	0.640	65.24	158.55	1.62
1.00	0.70	40.44	0.710	72.38	175.58	1.79
1.50	1.06	40.58	0.920	93.78	226.71	2.31
2.00	1.41	40.73	1.150	117.23	282.38	2.88
2.50	1.76	40.87	1.360	138.63	332.75	3.39
3.00	2.11	41.02	1.630	166.16	397.39	4.05
3.50	2.46	41.17	1.870	190.62	454.26	4.63
4.00	2.81	41.31	1.980	201.83	479.25	4.89
5.00	3.52	41.62	1.940	197.76	466.16	4.75
6.00	4.22	41.92	1.860	189.60	443.68	4.52
7.00	4.93	42.23				
8.00	5.63	42.55				
9.00	6.33	42.87				
10.00	7.04	43.19				
11.00	7.74	43.52				
12.00	8.44	43.86				
13.00	9.15	44.20				
14.00	9.85	44.54				
15.00	10.56	44.89				
16.00	11.26	45.25				
17.00	11.96	45.61				
18.00	12.67	45.98				
19.00	13.37	46.35				
20.00	14.07	46.73				

Observaciones:



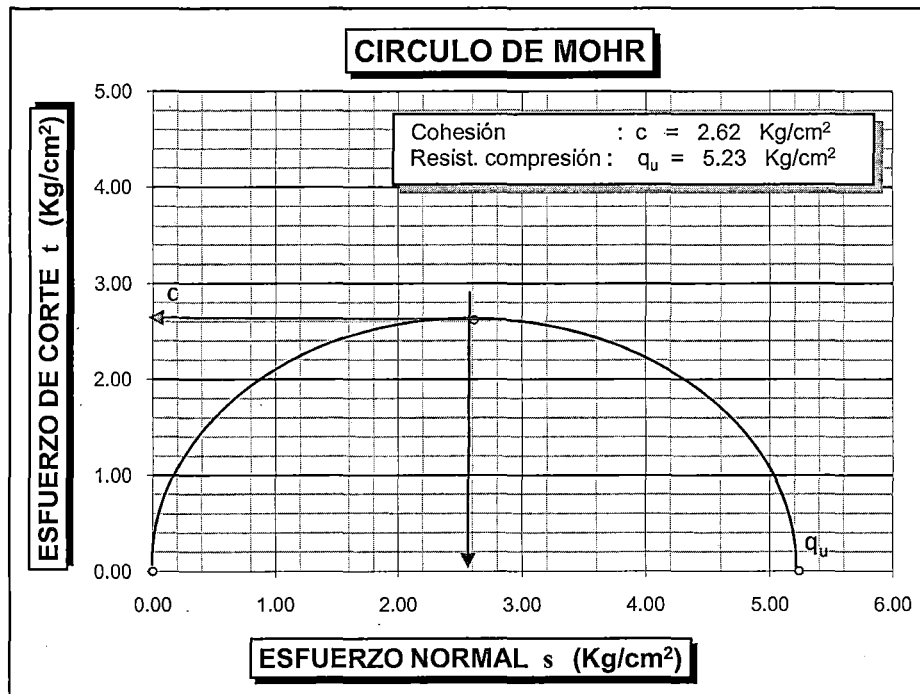
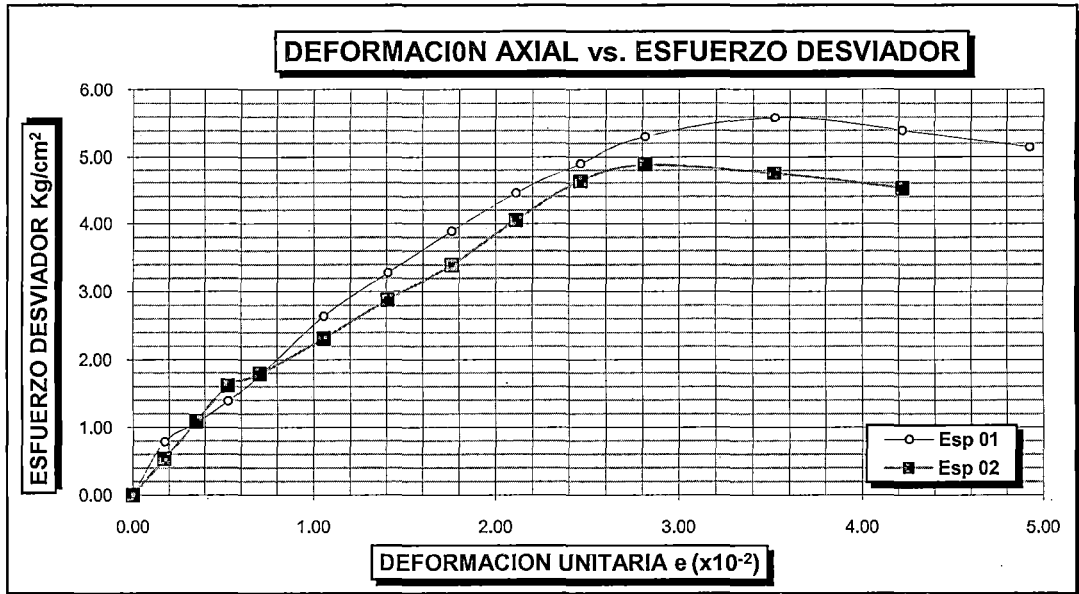
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%)	0
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	2
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	8.47	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1255.00	Muestra Remoldeada	
ALTURA Lo(cm)	14.15	DENSIDAD HUMEDA (g/cm ³)	2.21
DIAMETRO (cm)	7.15	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm ²)	40.152	ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	40.15	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	40.22	0.140	14.27	34.81	0.35
0.50	0.35	40.29	0.490	49.95	121.61	1.24
0.75	0.53	40.37	0.900	91.74	222.96	2.27
1.00	0.71	40.44	1.620	165.14	400.62	4.08
1.50	1.06	40.58	2.240	228.34	551.97	5.63
2.00	1.41	40.73	2.610	266.06	640.84	6.53
2.50	1.77	40.87	2.850	290.52	697.26	7.11
3.00	2.12	41.02	2.920	297.66	711.82	7.26
3.50	2.47	41.17	2.690	274.21	653.38	6.66
4.00	2.83	41.32				
5.00	3.53	41.62				
6.00	4.24	41.93				
7.00	4.95	42.24				
8.00	5.65	42.56				
9.00	6.36	42.88				
10.00	7.07	43.21				
11.00	7.77	43.54				
12.00	8.48	43.87				
13.00	9.19	44.21				
14.00	9.89	44.56				
15.00	10.60	44.91				
16.00	11.31	45.27				
17.00	12.01	45.63				
18.00	12.72	46.00				
19.00	13.43	46.38				
20.00	14.13	46.76				



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	2
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	8.31	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1261.00	Muestra Remoideada	X
ALTURA Lo(cm)	14.15	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.22
DIAMETRO (cm)	7.15	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	40.152	ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	40.15	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	40.22	0.450	45.87	111.88	1.14
0.50	0.35	40.29	1.020	103.98	253.14	2.58
0.75	0.53	40.37	1.620	165.14	401.33	4.09
1.00	0.71	40.44	2.000	203.87	494.59	5.04
1.50	1.06	40.58	2.260	230.38	556.89	5.68
2.00	1.41	40.73	2.570	261.98	631.02	6.43
2.50	1.77	40.87	2.720	277.27	665.46	6.78
3.00	2.12	41.02	2.930	298.67	714.26	7.28
3.50	2.47	41.17	2.850	290.52	692.25	7.06
4.00	2.83	41.32	2.670	272.17	646.18	6.59
5.00	3.53	41.62				
6.00	4.24	41.93				
7.00	4.95	42.24				
8.00	5.65	42.56				
9.00	6.36	42.88				
10.00	7.07	43.21				
11.00	7.77	43.54				
12.00	8.48	43.87				
13.00	9.19	44.21				
14.00	9.89	44.56				
15.00	10.60	44.91				
16.00	11.31	45.27				
17.00	12.01	45.63				
18.00	12.72	46.00				
19.00	13.43	46.38				
20.00	14.13	46.76				



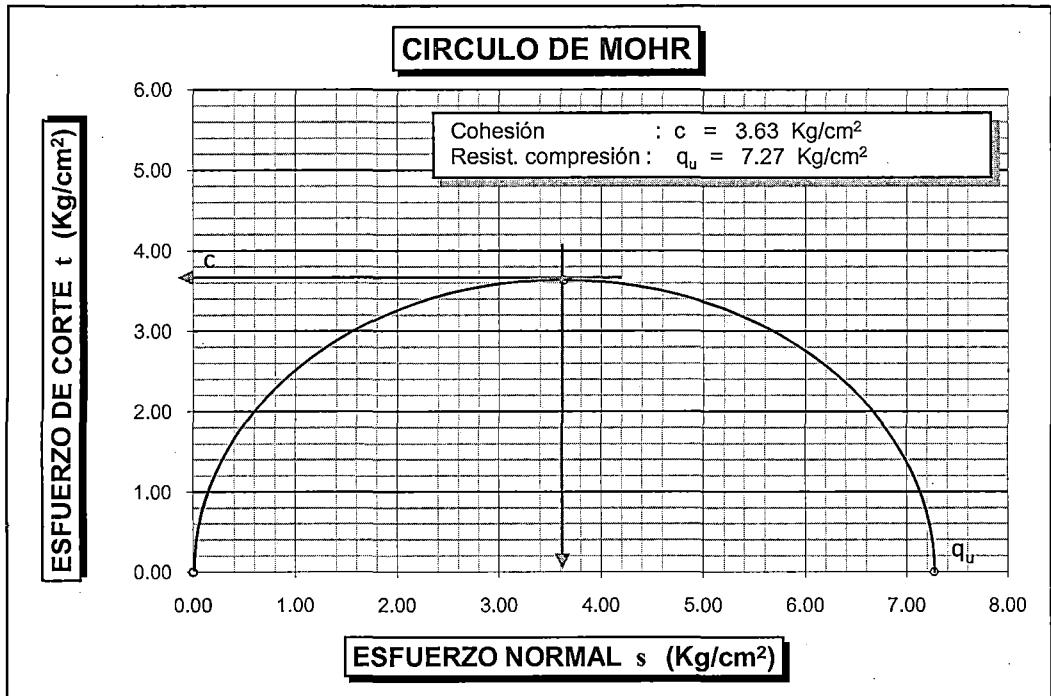
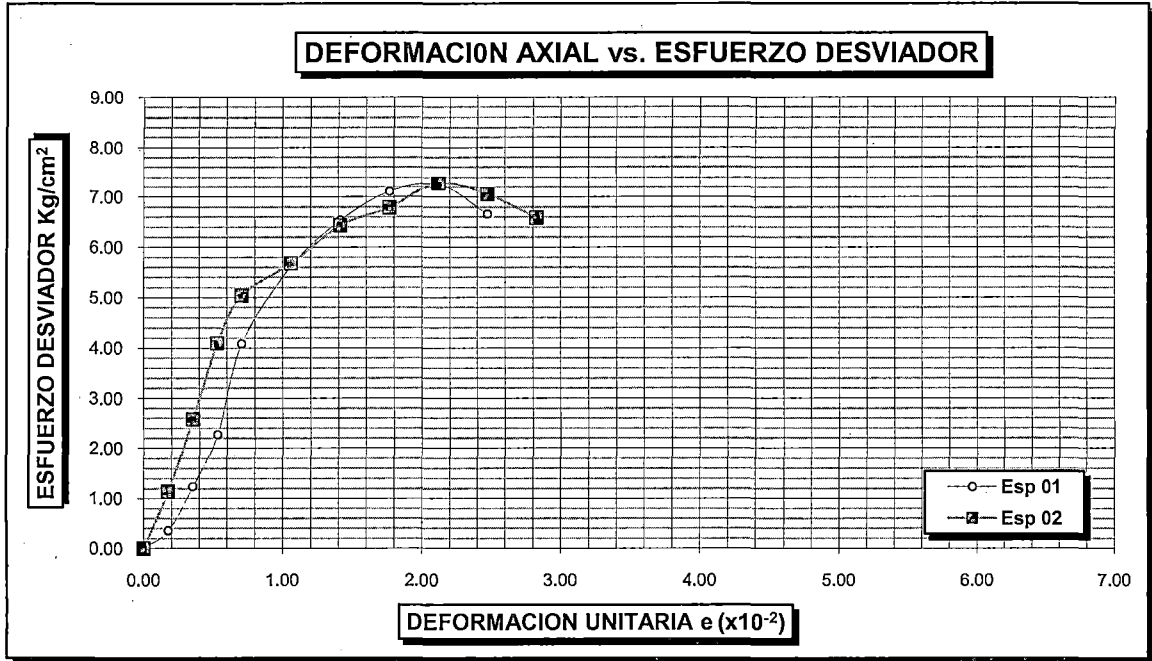
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%)	2
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	4
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	9.45	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1253.00	Muestra Remoldeada	
ALTURA Lo(cm)	14.18	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.31
DIAMETRO (cm)	6.98	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	38.265	ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	38.27	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	38.33	0.120	12.23	31.30	0.32
0.50	0.35	38.40	0.460	46.89	119.79	1.22
0.75	0.53	38.47	0.930	94.80	241.76	2.46
1.00	0.71	38.54	1.520	154.94	394.43	4.02
1.50	1.06	38.67	2.150	219.16	555.93	5.67
2.00	1.41	38.81	2.770	282.36	713.69	7.28
2.50	1.76	38.95	3.130	319.06	803.56	8.19
3.00	2.12	39.09	3.060	311.93	782.77	7.98
3.50	2.47	39.23				
4.00	2.82	39.38				
5.00	3.53	39.66				
6.00	4.23	39.96				
7.00	4.94	40.25				
8.00	5.64	40.55				
9.00	6.35	40.86				
10.00	7.05	41.17				
11.00	7.76	41.48				
12.00	8.46	41.80				
13.00	9.17	42.13				
14.00	9.87	42.46				
15.00	10.58	42.79				
16.00	11.28	43.13				
17.00	11.99	43.48				
18.00	12.69	43.83				
19.00	13.40	44.19				
20.00	14.10	44.55				



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	4
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	8.12	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1246.00	Muestra Remoldeada	X
ALTURA Lo(cm)	14.02	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.30
DIAMETRO (cm)	7.01	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	38.595	ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	38.60	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	38.66	0.250	25.48	64.66	0.66
0.50	0.36	38.73	0.670	68.30	172.98	1.76
0.75	0.53	38.80	1.120	114.17	288.64	2.94
1.00	0.71	38.87	1.370	139.65	352.44	3.59
1.50	1.07	39.01	1.860	189.60	476.77	4.86
2.00	1.43	39.15	2.490	253.82	635.96	6.48
2.50	1.78	39.30	2.710	276.25	689.64	7.03
3.00	2.14	39.44	2.560	260.96	649.11	6.62
3.50	2.50	39.58				
4.00	2.85	39.73				
5.00	3.57	40.02				
6.00	4.28	40.32				
7.00	4.99	40.62				
8.00	5.71	40.93				
9.00	6.42	41.24				
10.00	7.13	41.56				
11.00	7.85	41.88				
12.00	8.56	42.21				
13.00	9.27	42.54				
14.00	9.99	42.88				
15.00	10.70	43.22				
16.00	11.41	43.57				
17.00	12.13	43.92				
18.00	12.84	44.28				
19.00	13.55	44.65				
20.00	14.27	45.02				



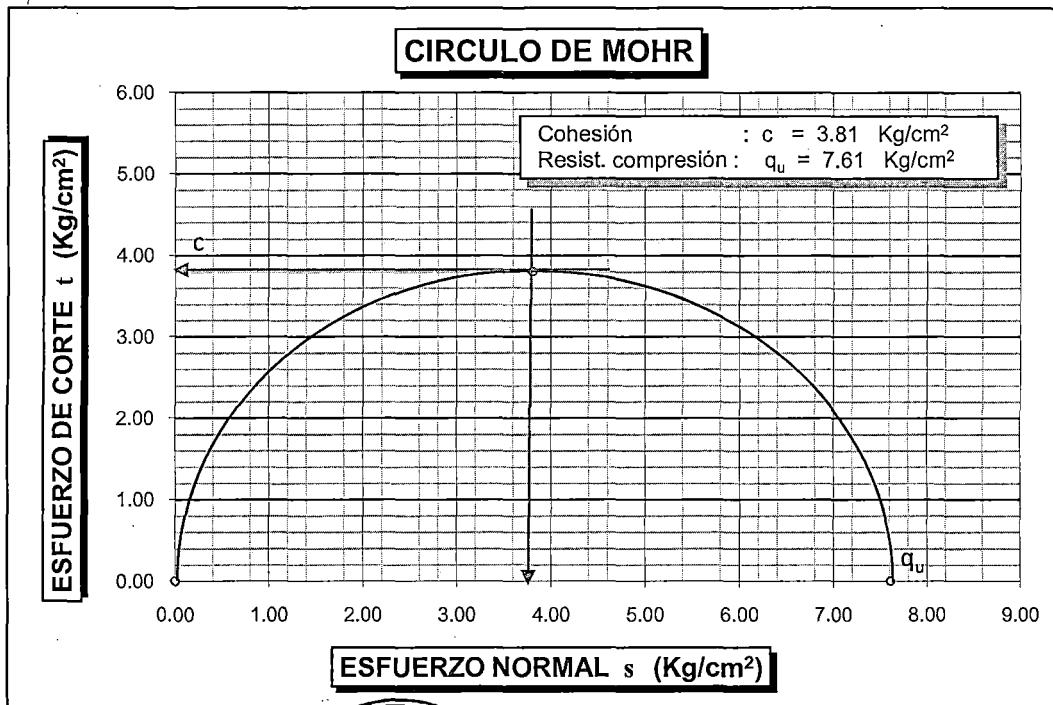
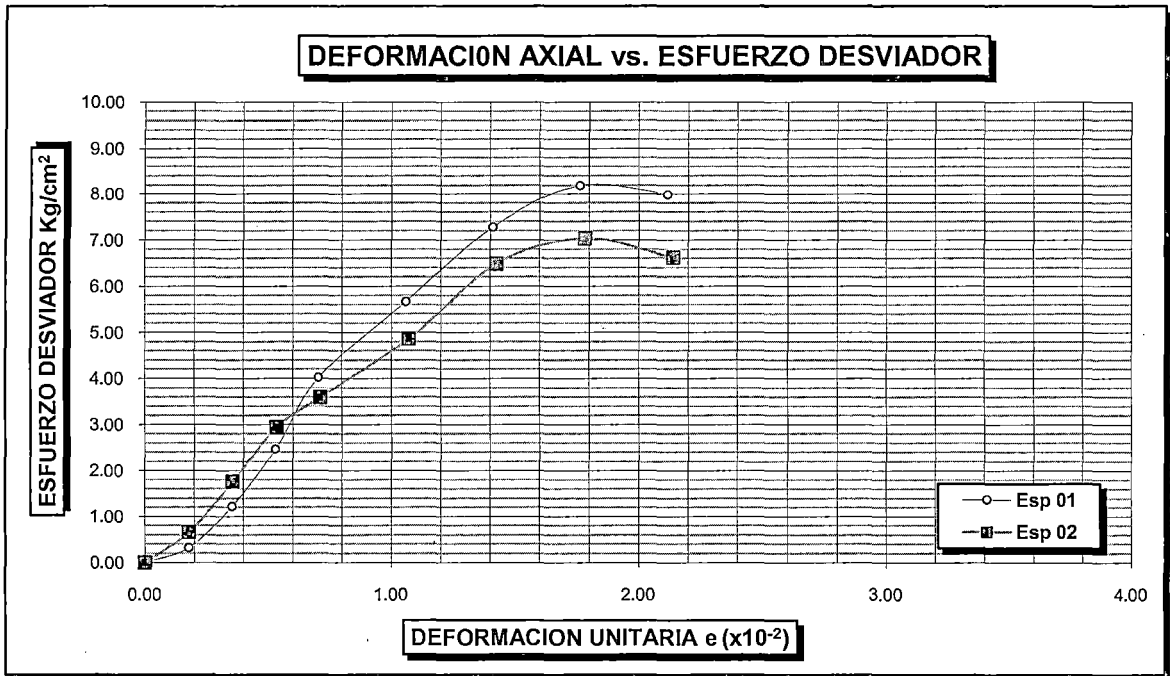
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%)	4
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	6
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	7.86	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1215.00	Muestra Remoldeada	X
ALTURA Lo(cm)	14.20	DENSIDAD HUMEDA (g/cm ³)	2.15
DIAMETRO (cm)	7.12	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm ²)	39.815	ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	39.82	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	39.89	0.120	12.23	30.09	0.31
0.50	0.35	39.96	0.480	48.93	120.13	1.22
0.75	0.53	40.03	0.860	87.67	214.86	2.19
1.00	0.70	40.10	1.030	104.99	256.87	2.62
1.50	1.06	40.24	1.240	126.40	308.15	3.14
2.00	1.41	40.38	1.090	111.11	269.91	2.75
2.50	1.76	40.53				
3.00	2.11	40.67				
3.50	2.46	40.82				
4.00	2.82	40.97				
5.00	3.52	41.27				
6.00	4.23	41.57				
7.00	4.93	41.88				
8.00	5.63	42.19				
9.00	6.34	42.51				
10.00	7.04	42.83				
11.00	7.75	43.16				
12.00	8.45	43.49				
13.00	9.15	43.83				
14.00	9.86	44.17				
15.00	10.56	44.52				
16.00	11.27	44.87				
17.00	11.97	45.23				
18.00	12.68	45.59				
19.00	13.38	45.97				
20.00	14.08	46.34				



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	6
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	6.93	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1221.00	Muestra Remoldeada	X
ALTURA Lo(cm)	14.20	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.16
DIAMETRO (cm)	7.12	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	39.815	ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - e)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	39.82	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	39.89	0.240	24.46	60.17	0.61
0.50	0.35	39.96	0.560	57.08	140.16	1.43
0.75	0.53	40.03	0.860	87.67	214.86	2.19
1.00	0.70	40.10	0.980	99.90	244.41	2.49
1.50	1.06	40.24	1.160	118.25	288.27	2.94
2.00	1.41	40.38	1.280	130.48	316.96	3.23
2.50	1.76	40.53	1.110	113.15	273.88	2.79
3.00	2.11	40.67				
3.50	2.46	40.82				
4.00	2.82	40.97				
5.00	3.52	41.27				
6.00	4.23	41.57				
7.00	4.93	41.88				
8.00	5.63	42.19				
9.00	6.34	42.51				
10.00	7.04	42.83				
11.00	7.75	43.16				
12.00	8.45	43.49				
13.00	9.15	43.83				
14.00	9.86	44.17				
15.00	10.56	44.52				
16.00	11.27	44.87				
17.00	11.97	45.23				
18.00	12.68	45.59				
19.00	13.38	45.97				
20.00	14.08	46.34				



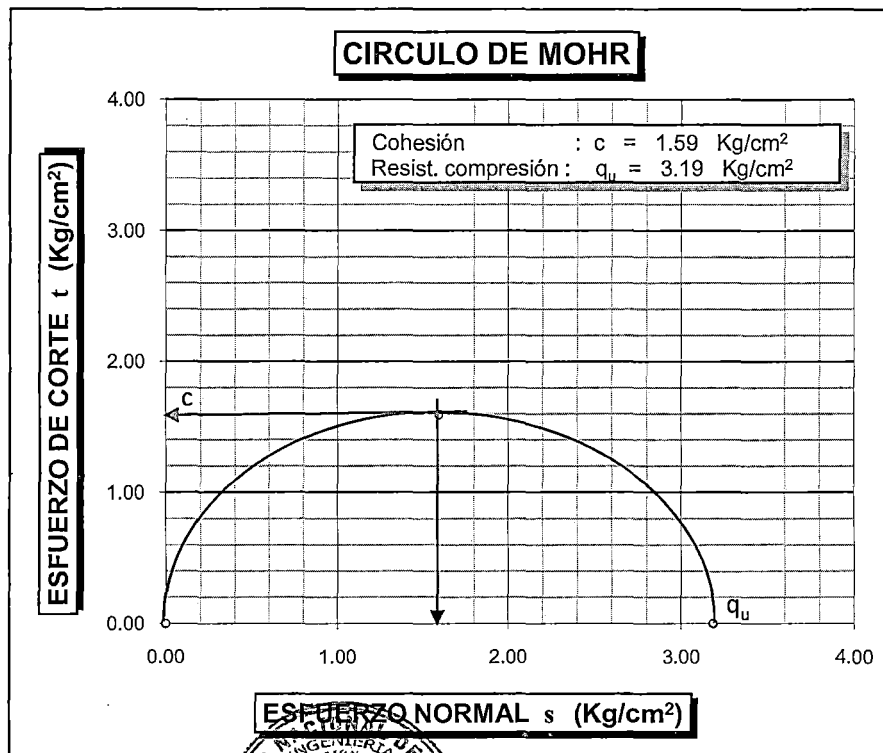
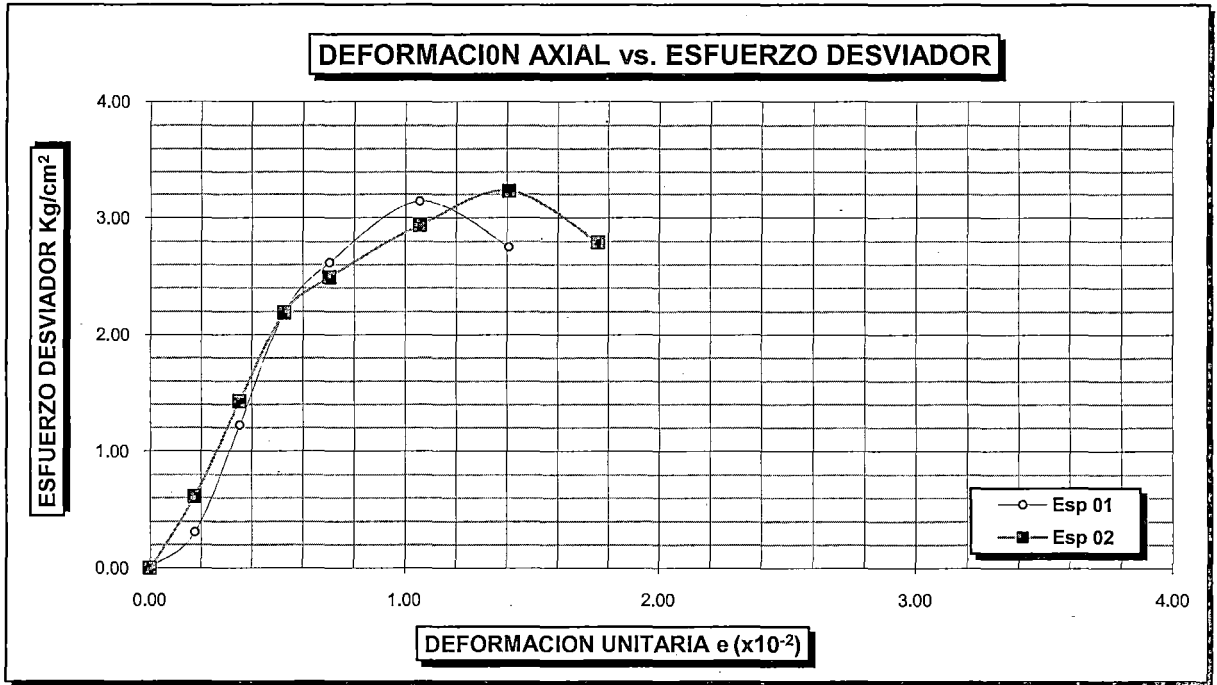
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%)	6
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	8
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	7.19	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1241.00	Muestra Remoldeada	X
ALTURA Lo(cm)	14.27	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.15
DIAMETRO (cm)	7.18	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	40.489	ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	40.49	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	40.56	0.130	13.25	32.05	0.33
0.50	0.35	40.63	0.230	23.45	56.61	0.58
0.75	0.53	40.70	0.330	33.64	81.08	0.83
1.00	0.70	40.77	0.420	42.81	103.00	1.05
1.50	1.05	40.92	0.510	51.99	124.64	1.27
2.00	1.40	41.06	0.630	64.22	153.42	1.56
2.50	1.75	41.21	0.750	76.45	181.99	1.86
3.00	2.10	41.36	0.870	88.69	210.36	2.14
3.50	2.45	41.51	0.970	98.88	233.70	2.38
4.00	2.80	41.66	1.020	103.98	244.86	2.50
5.00	3.50	41.96	1.010	102.96	240.71	2.45
6.00	4.20	42.27	0.950	96.84	224.77	2.29
7.00	4.91	42.58				
8.00	5.61	42.89				
9.00	6.31	43.21				
10.00	7.01	43.54				
11.00	7.71	43.87				
12.00	8.41	44.21				
13.00	9.11	44.55				
14.00	9.81	44.89				
15.00	10.51	45.24				
16.00	11.21	45.60				
17.00	11.91	45.96				
18.00	12.61	46.33				
19.00	13.31	46.71				
20.00	14.02	47.09				



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	8
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	7.3	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1236.00	Muestra Remoldeada	
ALTURA Lo(cm)	14.27	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.14
DIAMETRO (cm)	7.18	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	40.489	ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	40.49	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	40.56	0.090	9.17	22.19	0.23
0.50	0.35	40.63	0.140	14.27	34.46	0.35
0.75	0.53	40.70	0.210	21.41	51.59	0.53
1.00	0.70	40.77	0.260	26.50	63.76	0.65
1.50	1.05	40.92	0.360	36.70	87.98	0.90
2.00	1.40	41.06	0.480	48.93	116.89	1.19
2.50	1.75	41.21	0.590	60.14	143.17	1.46
3.00	2.10	41.36	0.670	68.30	162.00	1.65
3.50	2.45	41.51	0.830	84.61	199.97	2.04
4.00	2.80	41.66	0.900	91.74	216.05	2.20
5.00	3.50	41.96	0.850	86.65	202.58	2.07
6.00	4.20	42.27				
7.00	4.91	42.58				
8.00	5.61	42.89				
9.00	6.31	43.21				
10.00	7.01	43.54				
11.00	7.71	43.87				
12.00	8.41	44.21				
13.00	9.11	44.55				
14.00	9.81	44.89				
15.00	10.51	45.24				
16.00	11.21	45.60				
17.00	11.91	45.96				
18.00	12.61	46.33				
19.00	13.31	46.71				
20.00	14.02	47.09				



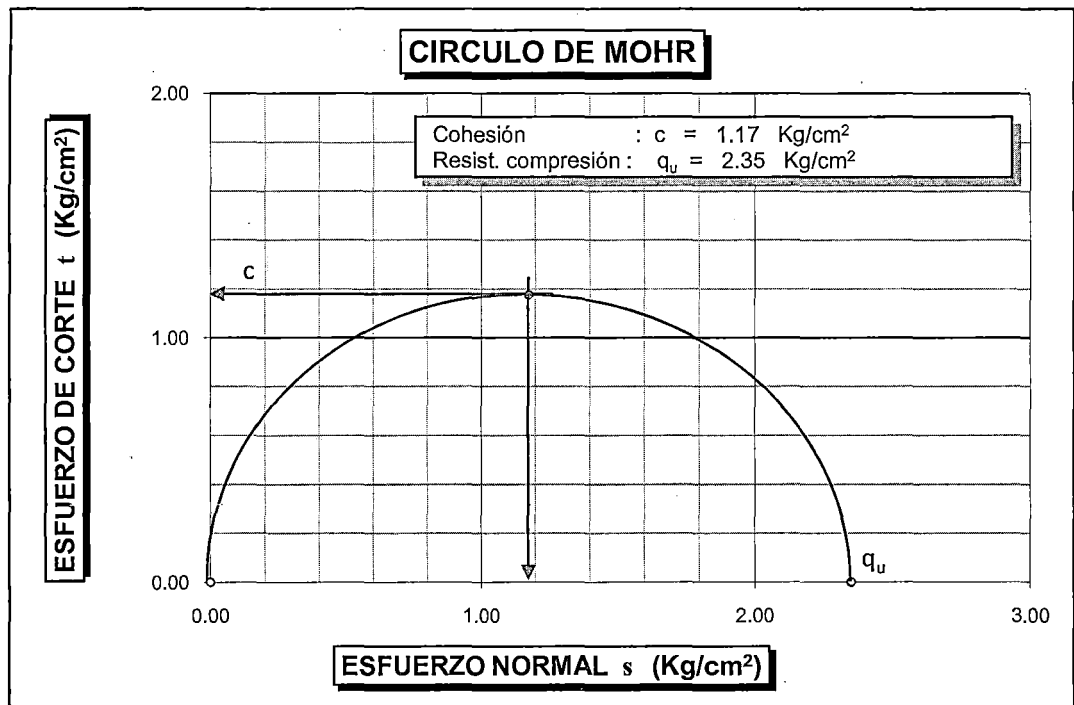
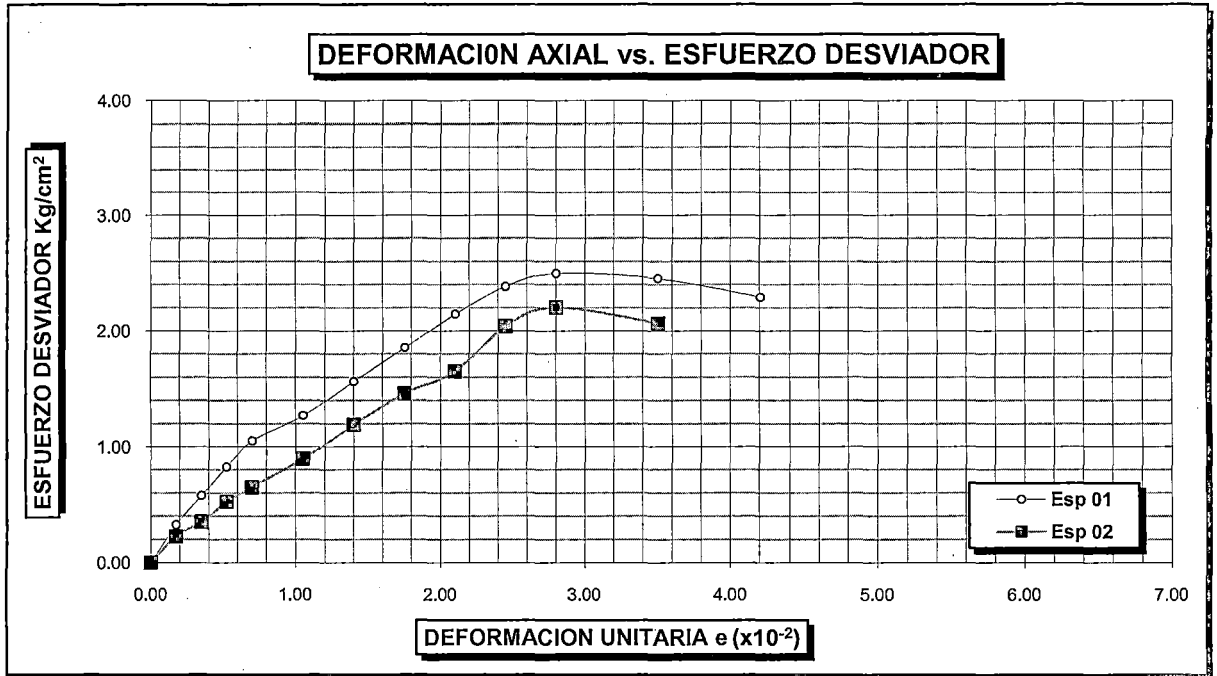
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACITE (%)	8
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	10
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	6.3	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1160.00	Muestra Remoldeada	
ALTURA Lo(cm)	14.22	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.10
DIAMETRO (cm)	7.03	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	38.815	ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	38.82	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	38.88	0.140	14.27	36.01	0.37
0.50	0.35	38.95	0.350	35.68	89.85	0.92
0.75	0.53	39.02	0.460	46.89	117.89	1.20
1.00	0.70	39.09	0.570	58.10	145.82	1.49
1.50	1.05	39.23	0.650	66.26	165.69	1.69
2.00	1.41	39.37	0.620	63.20	157.49	1.61
2.50	1.76	39.51	0.570	58.10	144.27	1.47
3.00	2.11	39.65				
3.50	2.46	39.79				
4.00	2.81	39.94				
5.00	3.52	40.23				
6.00	4.22	40.52				
7.00	4.92	40.82				
8.00	5.63	41.13				
9.00	6.33	41.44				
10.00	7.03	41.75				
11.00	7.74	42.07				
12.00	8.44	42.39				
13.00	9.14	42.72				
14.00	9.85	43.05				
15.00	10.55	43.39				
16.00	11.25	43.74				
17.00	11.95	44.09				
18.00	12.66	44.44				
19.00	13.36	44.80				
20.00	14.06	45.17				



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	10
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	5.6	Muestra Inalterada	
PESO (g)	1153.00	Muestra Remoldeada	X
ALTURA Lo(cm)	14.22	DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.09
DIAMETRO (cm)	7.03	VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
AREA Ao (cm2)	38.815	ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (kN)	Carga (Kg) P	Esfuerzo Normal (kPa)	Esfuerzo (Kg/cm ²) $s = P / A'$
0.00	0.00	38.82	0.000	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	38.88	0.250	25.48	64.29	0.66
0.50	0.35	38.95	0.530	54.03	136.07	1.39
0.75	0.53	39.02	0.630	64.22	161.45	1.65
1.00	0.70	39.09	0.720	73.39	184.19	1.88
1.50	1.05	39.23	0.700	71.36	178.44	1.82
2.00	1.41	39.37	0.660	67.28	167.65	1.71
2.50	1.76	39.51				
3.00	2.11	39.65				
3.50	2.46	39.79				
4.00	2.81	39.94				
5.00	3.52	40.23				
6.00	4.22	40.52				
7.00	4.92	40.82				
8.00	5.63	41.13				
9.00	6.33	41.44				
10.00	7.03	41.75				
11.00	7.74	42.07				
12.00	8.44	42.39				
13.00	9.14	42.72				
14.00	9.85	43.05				
15.00	10.55	43.39				
16.00	11.25	43.74				
17.00	11.95	44.09				
18.00	12.66	44.44				
19.00	13.36	44.80				
20.00	14.06	45.17				



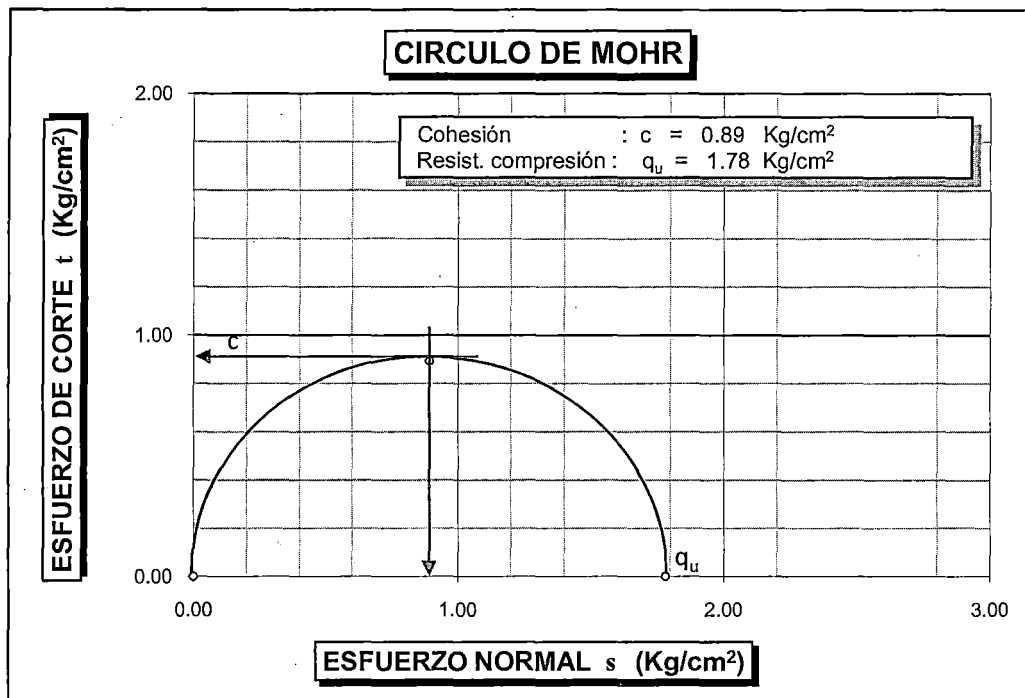
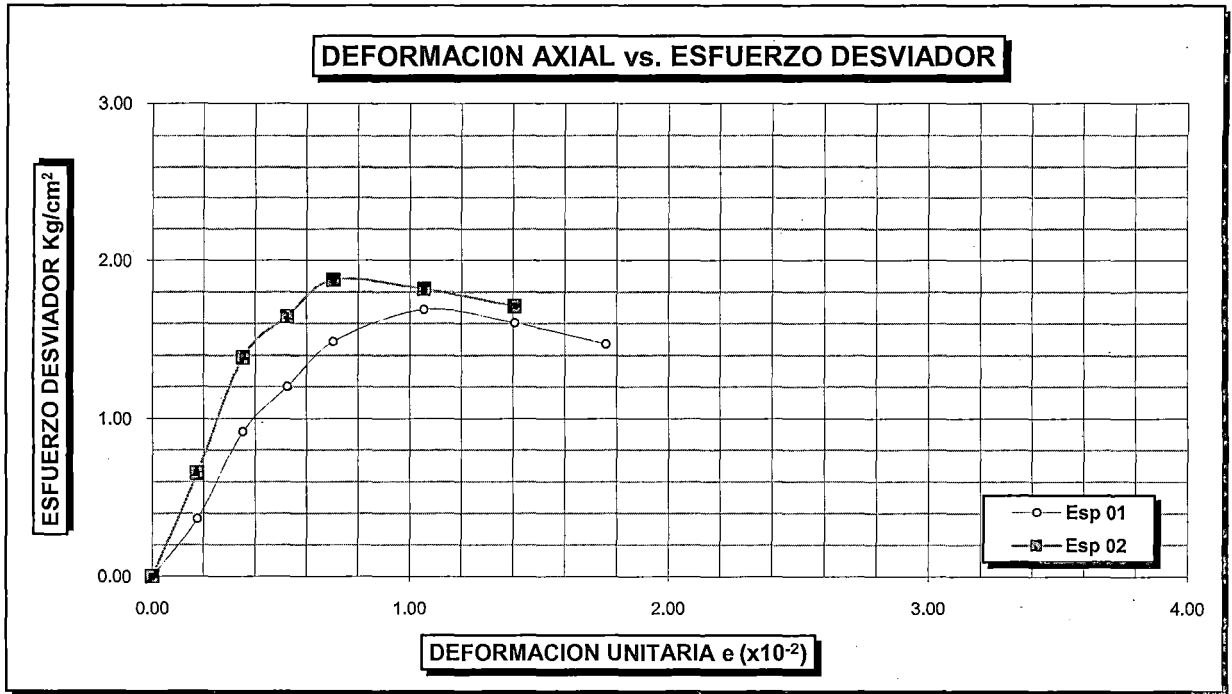
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION UNIAXIAL

ASTM D - 1587

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%)	10
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1

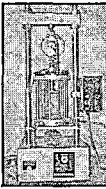


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	0
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	10.2		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1248.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.19
ALTURA Lo(cm)	14.21		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.15		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	0.5
AREA Ao (cm2)	40.152		ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^4$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - e)$	Carga (kg) P	Est. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.15	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.17	0.40	0.01	0.51	0.50	0.00	0.01	1.02
0.10	0.07	40.18	0.50	0.01	0.51	0.51	0.01	0.01	1.02
0.20	0.14	40.21	0.60	0.01	0.51	0.51	0.01	0.01	1.03
0.35	0.25	40.25	0.90	0.02	0.52	0.51	0.01	0.02	1.04
0.50	0.35	40.29	1.20	0.03	0.53	0.51	0.01	0.03	1.06
0.75	0.53	40.37	1.40	0.03	0.53	0.52	0.02	0.03	1.07
1.00	0.70	40.44	1.60	0.04	0.54	0.52	0.02	0.04	1.08
1.25	0.88	40.51	2.30	0.06	0.56	0.53	0.03	0.05	1.11
1.50	1.06	40.58	3.80	0.09	0.59	0.55	0.05	0.09	1.19
1.75	1.23	40.65	6.10	0.15	0.65	0.58	0.08	0.13	1.30
2.00	1.41	40.73	8.40	0.21	0.71	0.60	0.10	0.17	1.41
2.50	1.76	40.87	13.60	0.33	0.83	0.67	0.17	0.25	1.67
3.00	2.11	41.02	19.00	0.46	0.96	0.73	0.23	0.32	1.93
3.50	2.46	41.17	24.20	0.59	1.09	0.79	0.29	0.37	2.18
4.00	2.81	41.31	28.90	0.70	1.20	0.85	0.35	0.41	2.40
5.00	3.52	41.62	36.90	0.89	1.39	0.94	0.44	0.47	2.77
6.00	4.22	41.92	42.40	1.01	1.51	1.01	0.51	0.50	3.02
7.00	4.93	42.23	44.30	1.05	1.55	1.02	0.52	0.51	3.10
8.00	5.63	42.55	44.20	1.04	1.54	1.02	0.52	0.51	3.08
9.00	6.33	42.87	33.00	0.77	1.27	0.88	0.38	0.43	2.54
10.00	7.04	43.19							
11.00	7.74	43.52							
12.00	8.44	43.86							
13.00	9.15	44.20							
14.00	9.85	44.54							
15.00	10.56	44.89							
16.00	11.26	45.25							
17.00	11.96	45.61							
18.00	12.67	45.98							
19.00	13.37	46.35							
20.00	14.07	46.73							




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	0
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	10.6		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1251.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.19
ALTURA Lo(cm)	14.21		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.15		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	1.0
AREA Ao (cm2)	40.152		ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - e)$	Carga (kg) P	Esf. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s_1/s_3)
0.00	0.00	40.15	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.17	0.45	0.01	1.01	1.01	0.01	0.01	1.01
0.10	0.07	40.18	0.60	0.01	1.01	1.01	0.01	0.01	1.01
0.20	0.14	40.21	0.90	0.02	1.02	1.01	0.01	0.01	1.02
0.35	0.25	40.25	1.35	0.03	1.03	1.02	0.02	0.02	1.03
0.50	0.35	40.29	1.85	0.05	1.05	1.02	0.02	0.02	1.05
0.75	0.53	40.37	2.10	0.05	1.05	1.03	0.03	0.03	1.05
1.00	0.70	40.44	2.55	0.06	1.06	1.03	0.03	0.03	1.06
1.25	0.88	40.51	3.45	0.09	1.09	1.04	0.04	0.04	1.09
1.50	1.06	40.58	6.00	0.15	1.15	1.07	0.07	0.07	1.15
1.75	1.23	40.65	8.70	0.21	1.21	1.11	0.11	0.10	1.21
2.00	1.41	40.73	11.70	0.29	1.29	1.14	0.14	0.13	1.29
2.50	1.76	40.87	17.70	0.43	1.43	1.22	0.22	0.18	1.43
3.00	2.11	41.02	26.70	0.65	1.65	1.33	0.33	0.25	1.65
3.50	2.46	41.17	33.75	0.82	1.82	1.41	0.41	0.29	1.82
4.00	2.81	41.31	44.55	1.08	2.08	1.54	0.54	0.35	2.08
5.00	3.52	41.62	49.60	1.19	2.19	1.60	0.60	0.37	2.19
6.00	4.22	41.92	48.20	1.15	2.15	1.57	0.57	0.37	2.15
7.00	4.93	42.23	45.40	1.08	2.08	1.54	0.54	0.35	2.08
8.00	5.63	42.55	39.60	0.93	1.93	1.47	0.47	0.32	1.93
9.00	6.33	42.87							
10.00	7.04	43.19							
11.00	7.74	43.52							
12.00	8.44	43.86							
13.00	9.15	44.20							
14.00	9.85	44.54							
15.00	10.56	44.89							
16.00	11.26	45.25							
17.00	11.96	45.61							
18.00	12.67	45.98							
19.00	13.37	46.35							
20.00	14.07	46.73							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

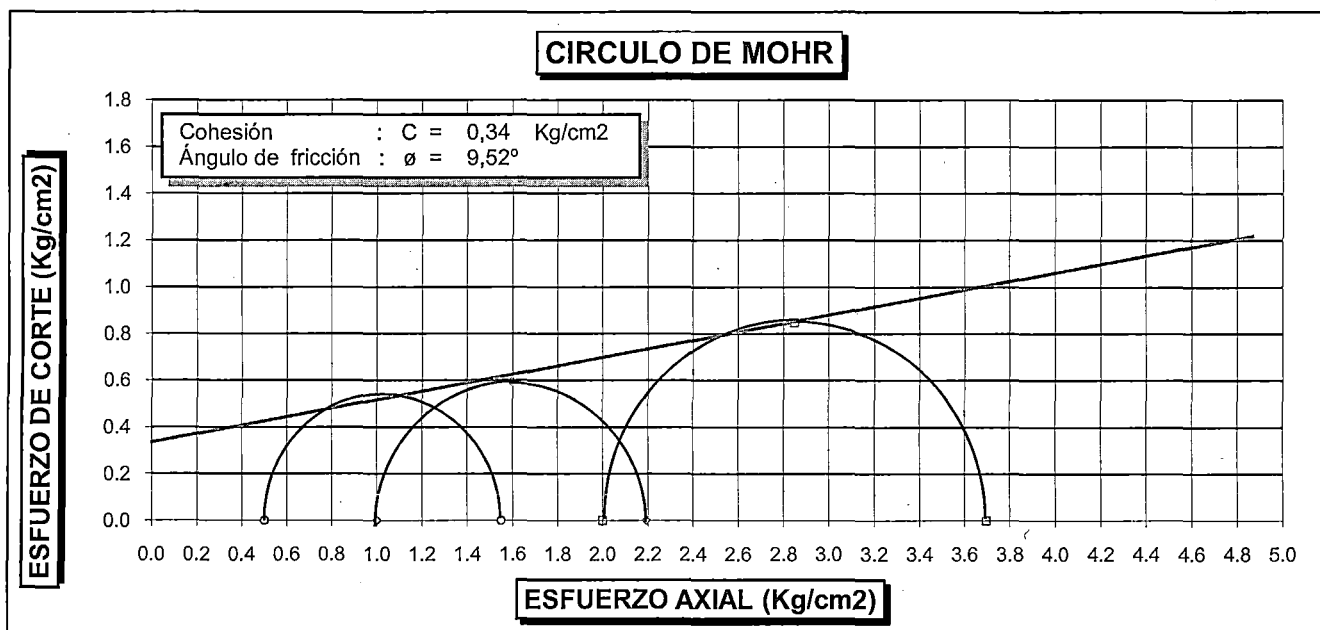
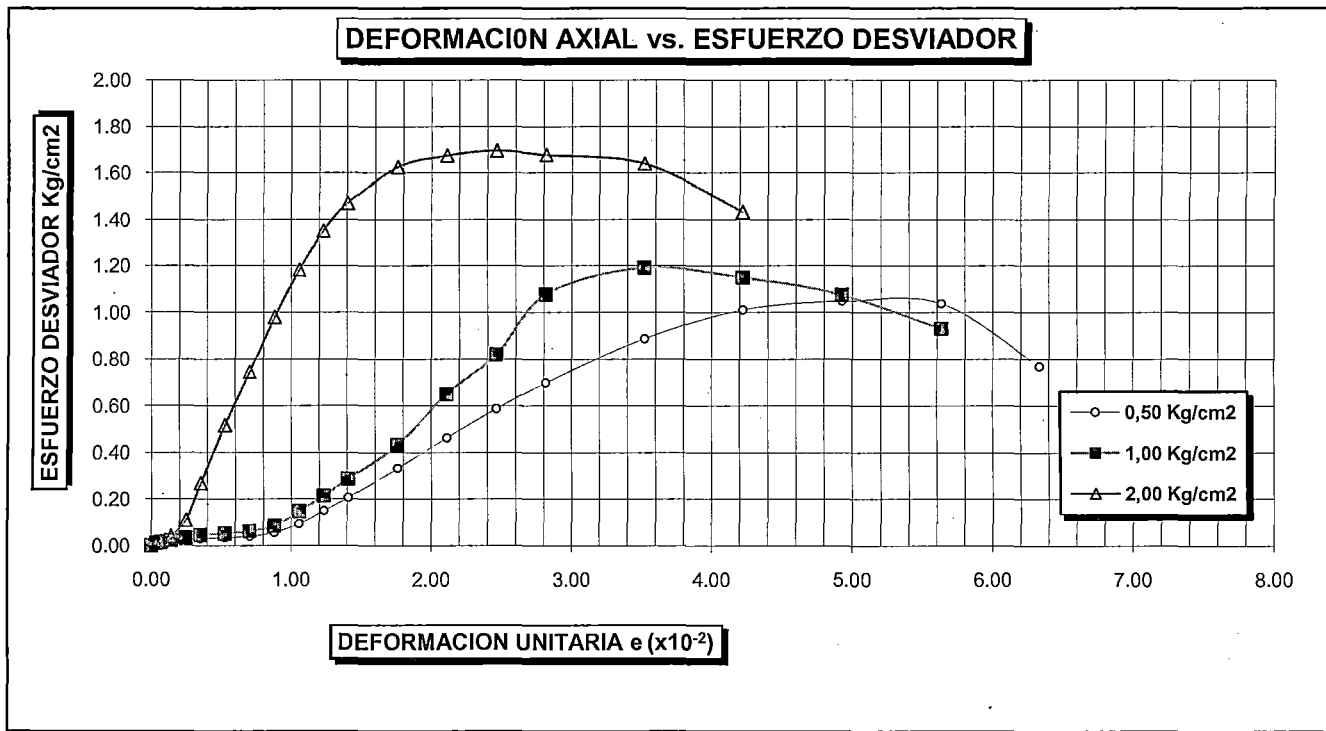
TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	0
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	10.4		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1236.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.17
ALTURA Lo(cm)	14.21		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.15		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	2.0
AREA Ao (cm2)	40.152		ESPECIMEN Nro.	03

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - e)$	Carga (kg) P	Esf. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.15	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.17	0.40	0.01	2.01	2.00	0.00	0.00	1.00
0.10	0.07	40.18	0.70	0.02	2.02	2.01	0.01	0.00	1.01
0.20	0.14	40.21	1.60	0.04	2.04	2.02	0.02	0.01	1.02
0.35	0.25	40.25	4.40	0.11	2.11	2.05	0.05	0.03	1.05
0.50	0.35	40.29	10.80	0.27	2.27	2.13	0.13	0.06	1.13
0.75	0.53	40.37	20.90	0.52	2.52	2.26	0.26	0.11	1.26
1.00	0.70	40.44	30.20	0.75	2.75	2.37	0.37	0.16	1.37
1.25	0.88	40.51	39.70	0.98	2.98	2.49	0.49	0.20	1.49
1.50	1.06	40.58	48.00	1.18	3.18	2.59	0.59	0.23	1.59
1.75	1.23	40.65	55.00	1.35	3.35	2.68	0.68	0.25	1.68
2.00	1.41	40.73	59.90	1.47	3.47	2.74	0.74	0.27	1.74
2.50	1.76	40.87	66.40	1.62	3.62	2.81	0.81	0.29	1.81
3.00	2.11	41.02	68.70	1.67	3.67	2.84	0.84	0.30	1.84
3.50	2.46	41.17	69.80	1.70	3.70	2.85	0.85	0.30	1.85
4.00	2.81	41.31	69.30	1.68	3.68	2.84	0.84	0.30	1.84
5.00	3.52	41.62	68.20	1.64	3.64	2.82	0.82	0.29	1.82
6.00	4.22	41.92	60.12	1.43	3.43	2.72	0.72	0.26	1.72
7.00	4.93	42.23							
8.00	5.63	42.55							
9.00	6.33	42.87							
10.00	7.04	43.19							
11.00	7.74	43.52							
12.00	8.44	43.86							
13.00	9.15	44.20							
14.00	9.85	44.54							
15.00	10.56	44.89							
16.00	11.26	45.25							
17.00	11.96	45.61							
18.00	12.67	45.98							
19.00	13.37	46.35							
20.00	14.07	46.73							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA
 ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU
 ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	0
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1

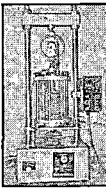


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	2
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	8.92		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1261.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.22
ALTURA Lo(cm)	14.12		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.15		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	0.5
AREA Ao (cm2)	40.15		ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Est. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s_1/s_3)
0.00	0.00	40.15	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.17	0.40	0.01	0.51	0.50	0.00	0.01	1.02
0.10	0.07	40.18	0.60	0.01	0.51	0.51	0.01	0.01	1.03
0.20	0.14	40.21	0.70	0.02	0.52	0.51	0.01	0.02	1.03
0.35	0.25	40.25	0.90	0.02	0.52	0.51	0.01	0.02	1.04
0.50	0.35	40.29	2.60	0.06	0.56	0.53	0.03	0.06	1.13
0.75	0.53	40.37	7.20	0.18	0.68	0.59	0.09	0.15	1.36
1.00	0.71	40.44	12.50	0.31	0.81	0.65	0.15	0.24	1.62
1.25	0.89	40.51	17.00	0.42	0.92	0.71	0.21	0.30	1.84
1.50	1.06	40.58	28.30	0.70	1.20	0.85	0.35	0.41	2.39
1.75	1.24	40.66	32.60	0.80	1.30	0.90	0.40	0.45	2.60
2.00	1.42	40.73	37.70	0.93	1.43	0.96	0.46	0.48	2.85
2.50	1.77	40.88	39.40	0.96	1.46	0.98	0.48	0.49	2.93
3.00	2.12	41.02	43.60	1.06	1.56	1.03	0.53	0.52	3.13
3.50	2.48	41.17	42.30	1.03	1.53	1.01	0.51	0.51	3.05
4.00	2.83	41.32	37.10	0.90	1.40	0.95	0.45	0.47	2.80
5.00	3.54	41.63	31.40	0.75	1.25	0.88	0.38	0.43	2.51
6.00	4.25	41.93							
7.00	4.96	42.25							
8.00	5.67	42.56							
9.00	6.37	42.89							
10.00	7.08	43.21							
11.00	7.79	43.54							
12.00	8.50	43.88							
13.00	9.21	44.22							
14.00	9.92	44.57							
15.00	10.62	44.92							
16.00	11.33	45.28							
17.00	12.04	45.65							
18.00	12.75	46.02							
19.00	13.46	46.39							
20.00	14.16	46.78							




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	2
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	8.3		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1255.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.21
ALTURA Lo(cm)	14.12		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.15		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	1.0
AREA Ao (cm2)	40.15		ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - e)$	Carga (kg) P	Esf. Dev. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.15	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.17	2.40	0.06	1.06	1.03	0.03	0.03	1.06
0.10	0.07	40.18	3.00	0.07	1.07	1.04	0.04	0.04	1.07
0.20	0.14	40.21	3.30	0.08	1.08	1.04	0.04	0.04	1.08
0.35	0.25	40.25	3.50	0.09	1.09	1.04	0.04	0.04	1.09
0.50	0.35	40.29	4.40	0.11	1.11	1.05	0.05	0.05	1.11
0.75	0.53	40.37	7.00	0.17	1.17	1.09	0.09	0.08	1.17
1.00	0.71	40.44	13.90	0.34	1.34	1.17	0.17	0.15	1.34
1.25	0.89	40.51	21.70	0.54	1.54	1.27	0.27	0.21	1.54
1.50	1.06	40.58	29.80	0.73	1.73	1.37	0.37	0.27	1.73
1.75	1.24	40.66	35.90	0.88	1.88	1.44	0.44	0.31	1.88
2.00	1.42	40.73	40.80	1.00	2.00	1.50	0.50	0.33	2.00
2.50	1.77	40.88	44.70	1.09	2.09	1.55	0.55	0.35	2.09
3.00	2.12	41.02	49.20	1.20	2.20	1.60	0.60	0.37	2.20
3.50	2.48	41.17	49.40	1.20	2.20	1.60	0.60	0.37	2.20
4.00	2.83	41.32	46.90	1.13	2.13	1.57	0.57	0.36	2.13
5.00	3.54	41.63	42.70	1.03	2.03	1.51	0.51	0.34	2.03
6.00	4.25	41.93							
7.00	4.96	42.25							
8.00	5.67	42.56							
9.00	6.37	42.89							
10.00	7.08	43.21							
11.00	7.79	43.54							
12.00	8.50	43.88							
13.00	9.21	44.22							
14.00	9.92	44.57							
15.00	10.62	44.92							
16.00	11.33	45.28							
17.00	12.04	45.65							
18.00	12.75	46.02							
19.00	13.46	46.39							
20.00	14.16	46.78							

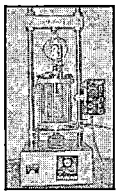


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

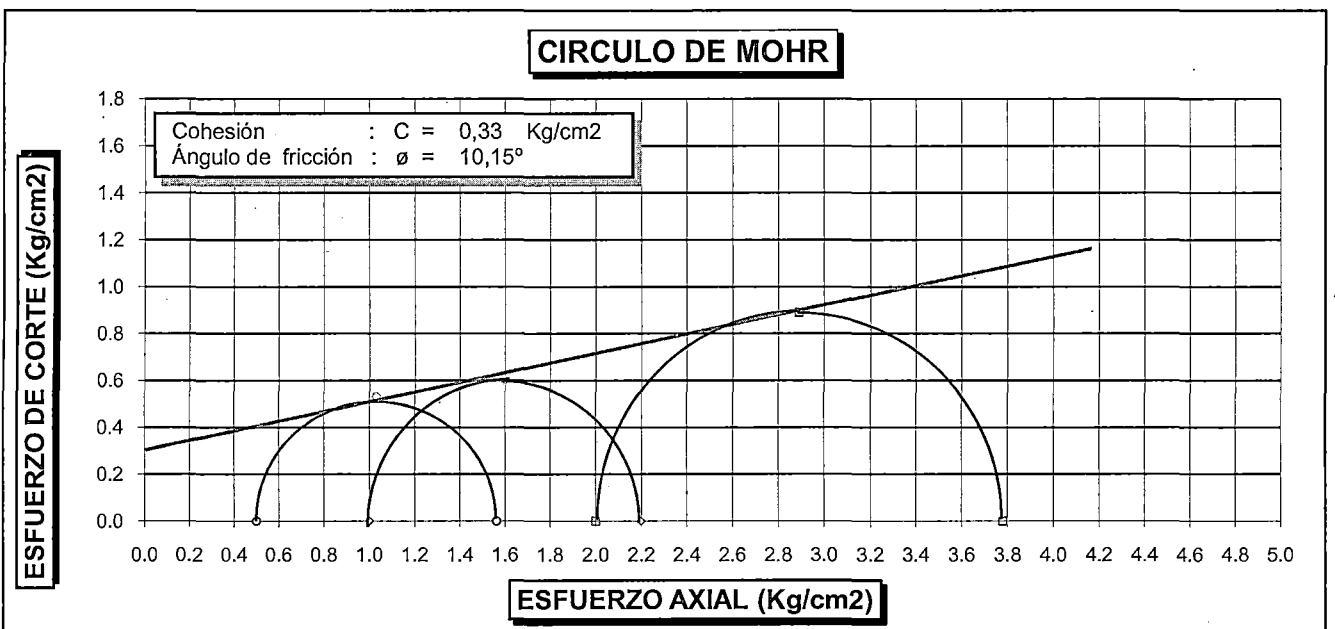
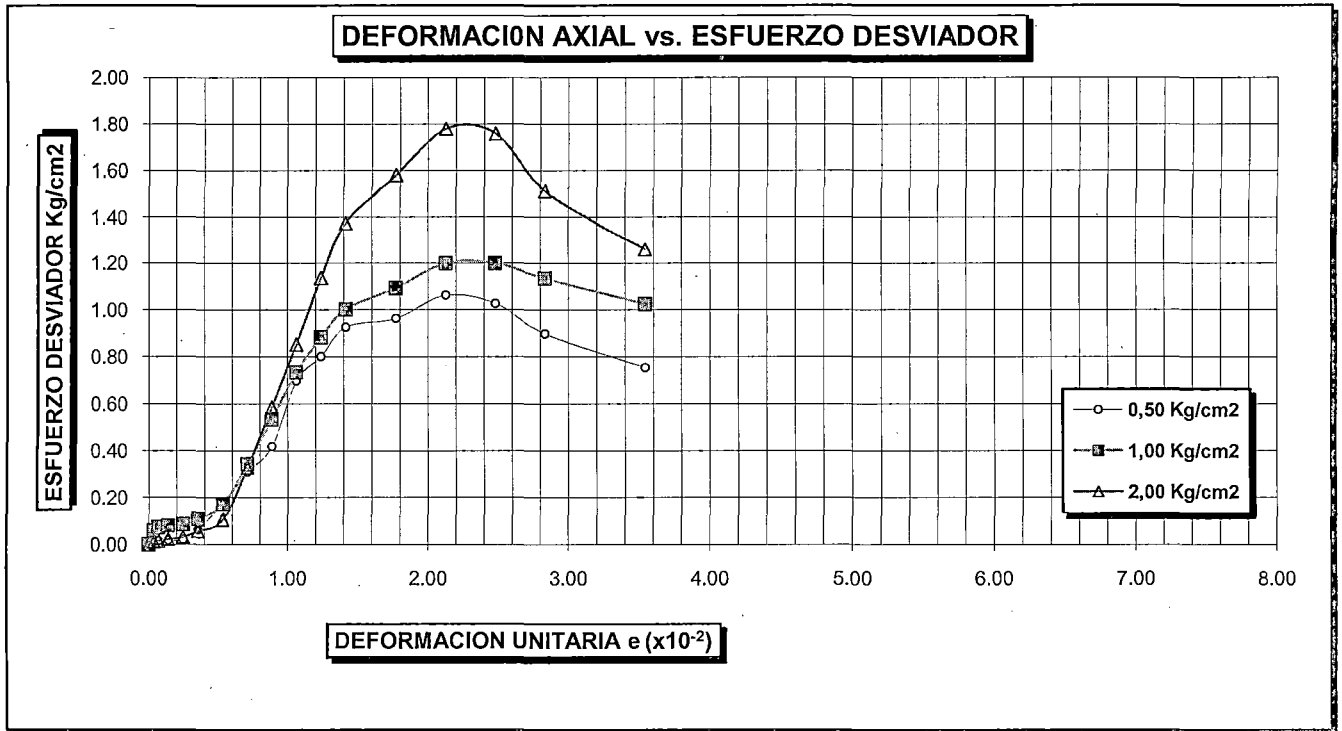
TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	2
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	8.06		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1252.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.21
ALTURA Lo(cm)	14.12		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.15		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	2.0
AREA Ao (cm2)	40.15		ESPECIMEN Nro.	03

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Esf. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.15	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.17	0.50	0.01	2.01	2.01	0.01	0.00	1.01
0.10	0.07	40.18	0.60	0.01	2.01	2.01	0.01	0.00	1.01
0.20	0.14	40.21	0.90	0.02	2.02	2.01	0.01	0.01	1.01
0.35	0.25	40.25	1.30	0.03	2.03	2.02	0.02	0.01	1.02
0.50	0.35	40.29	2.30	0.06	2.06	2.03	0.03	0.01	1.03
0.75	0.53	40.37	4.30	0.11	2.11	2.05	0.05	0.03	1.05
1.00	0.71	40.44	13.30	0.33	2.33	2.16	0.16	0.08	1.16
1.25	0.89	40.51	23.70	0.59	2.59	2.29	0.29	0.13	1.29
1.50	1.06	40.58	34.60	0.85	2.85	2.43	0.43	0.18	1.43
1.75	1.24	40.66	46.20	1.14	3.14	2.57	0.57	0.22	1.57
2.00	1.42	40.73	56.00	1.37	3.37	2.69	0.69	0.26	1.69
2.50	1.77	40.88	64.60	1.58	3.58	2.79	0.79	0.28	1.79
3.00	2.12	41.02	73.00	1.78	3.78	2.89	0.89	0.31	1.89
3.50	2.48	41.17	72.40	1.76	3.76	2.88	0.88	0.31	1.88
4.00	2.83	41.32	62.60	1.51	3.51	2.76	0.76	0.27	1.76
5.00	3.54	41.63	52.40	1.26	3.26	2.63	0.63	0.24	1.63
6.00	4.25	41.93							
7.00	4.96	42.25							
8.00	5.67	42.56							
9.00	6.37	42.89							
10.00	7.08	43.21							
11.00	7.79	43.54							
12.00	8.50	43.88							
13.00	9.21	44.22							
14.00	9.92	44.57							
15.00	10.62	44.92							
16.00	11.33	45.28							
17.00	12.04	45.65							
18.00	12.75	46.02							
19.00	13.46	46.39							
20.00	14.16	46.78							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA
 ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU
 ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	2
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	4
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	8.59		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1242.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.15
ALTURA Lo(cm)	14.24		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.19		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	0.5
AREA Ao (cm2)	40.602		ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Est. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s_1 / s_3)
0.00	0.00	40.60	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.62	1.20	0.03	0.53	0.51	0.01	0.03	1.06
0.10	0.07	40.63	1.40	0.03	0.53	0.52	0.02	0.03	1.07
0.20	0.14	40.66	1.70	0.04	0.54	0.52	0.02	0.04	1.08
0.35	0.25	40.70	4.60	0.11	0.61	0.56	0.06	0.10	1.23
0.50	0.35	40.75	9.20	0.23	0.73	0.61	0.11	0.18	1.45
0.75	0.53	40.82	18.20	0.45	0.95	0.72	0.22	0.31	1.89
1.00	0.70	40.89	27.10	0.66	1.16	0.83	0.33	0.40	2.33
1.25	0.88	40.96	35.20	0.86	1.36	0.93	0.43	0.46	2.72
1.50	1.05	41.03	42.40	1.03	1.53	1.02	0.52	0.51	3.07
1.75	1.23	41.11	48.50	1.18	1.68	1.09	0.59	0.54	3.36
2.00	1.40	41.18	54.00	1.31	1.81	1.16	0.66	0.57	3.62
2.50	1.76	41.33	58.60	1.42	1.92	1.21	0.71	0.59	3.84
3.00	2.11	41.48	58.30	1.41	1.91	1.20	0.70	0.58	3.81
3.50	2.46	41.63	58.20	1.40	1.90	1.20	0.70	0.58	3.80
4.00	2.81	41.78	55.80	1.34	1.84	1.17	0.67	0.57	3.67
5.00	3.51	42.08							
6.00	4.21	42.39							
7.00	4.92	42.70							
8.00	5.62	43.02							
9.00	6.32	43.34							
10.00	7.02	43.67							
11.00	7.72	44.00							
12.00	8.43	44.34							
13.00	9.13	44.68							
14.00	9.83	45.03							
15.00	10.53	45.38							
16.00	11.24	45.74							
17.00	11.94	46.11							
18.00	12.64	46.48							
19.00	13.34	46.85							
20.00	14.04	47.24							




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	4
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	7.89		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1248.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.16
ALTURA Lo(cm)	14.24		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.19		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	1.0
AREA Ao (cm2)	40.602		ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Esf. Dev. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.60	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.62	0.20	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.10	0.07	40.63	0.40	0.01	1.01	1.00	0.00	0.00	1.01
0.20	0.14	40.66	0.40	0.01	1.01	1.00	0.00	0.00	1.01
0.35	0.25	40.70	0.70	0.02	1.02	1.01	0.01	0.01	1.02
0.50	0.35	40.75	5.60	0.14	1.14	1.07	0.07	0.06	1.14
0.75	0.53	40.82	16.20	0.40	1.40	1.20	0.20	0.17	1.40
1.00	0.70	40.89	27.80	0.68	1.68	1.34	0.34	0.25	1.68
1.25	0.88	40.96	39.00	0.95	1.95	1.48	0.48	0.32	1.95
1.50	1.05	41.03	49.10	1.20	2.20	1.60	0.60	0.37	2.20
1.75	1.23	41.11	58.40	1.42	2.42	1.71	0.71	0.42	2.42
2.00	1.40	41.18	65.80	1.60	2.60	1.80	0.80	0.44	2.60
2.50	1.76	41.33	74.30	1.80	2.80	1.90	0.90	0.47	2.80
3.00	2.11	41.48	73.60	1.77	2.77	1.89	0.89	0.47	2.77
3.50	2.46	41.63	69.20	1.66	2.66	1.83	0.83	0.45	2.66
4.00	2.81	41.78							
5.00	3.51	42.08							
6.00	4.21	42.39							
7.00	4.92	42.70							
8.00	5.62	43.02							
9.00	6.32	43.34							
10.00	7.02	43.67							
11.00	7.72	44.00							
12.00	8.43	44.34							
13.00	9.13	44.68							
14.00	9.83	45.03							
15.00	10.53	45.38							
16.00	11.24	45.74							
17.00	11.94	46.11							
18.00	12.64	46.48							
19.00	13.34	46.85							
20.00	14.04	47.24							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	4
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	9		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1258.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm ³)	2.18
ALTURA Lo(cm)	14.24		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.19		PRESIÓN CELDA (kg/cm ²) s3	2.0
AREA Ao (cm ²)	40.602		ESPECIMEN Nro.	03

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0(1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Esf. Desv. (Kg/cm ²) $s = P/A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3)/2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3)/2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.60	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.62	0.30	0.01	2.01	2.00	0.00	0.00	1.00
0.10	0.07	40.63	0.50	0.01	2.01	2.01	0.01	0.00	1.01
0.20	0.14	40.66	0.60	0.01	2.01	2.01	0.01	0.00	1.01
0.35	0.25	40.70	0.90	0.02	2.02	2.01	0.01	0.01	1.01
0.50	0.35	40.75	1.20	0.03	2.03	2.01	0.01	0.01	1.01
0.75	0.53	40.82	2.30	0.06	2.06	2.03	0.03	0.01	1.03
1.00	0.70	40.89	7.20	0.18	2.18	2.09	0.09	0.04	1.09
1.25	0.88	40.96	18.80	0.46	2.46	2.23	0.23	0.10	1.23
1.50	1.05	41.03	32.00	0.78	2.78	2.39	0.39	0.16	1.39
1.75	1.23	41.11	45.90	1.12	3.12	2.56	0.56	0.22	1.56
2.00	1.40	41.18	58.80	1.43	3.43	2.71	0.71	0.26	1.71
2.50	1.76	41.33	78.10	1.89	3.89	2.94	0.94	0.32	1.94
3.00	2.11	41.48	89.50	2.16	4.16	3.08	1.08	0.35	2.08
3.50	2.46	41.63	95.10	2.28	4.28	3.14	1.14	0.36	2.14
4.00	2.81	41.78	95.80	2.29	4.29	3.15	1.15	0.36	2.15
5.00	3.51	42.08	93.50	2.22	4.22	3.11	1.11	0.36	2.11
6.00	4.21	42.39	89.60	2.11	4.11	3.06	1.06	0.35	2.06
7.00	4.92	42.70							
8.00	5.62	43.02							
9.00	6.32	43.34							
10.00	7.02	43.67							
11.00	7.72	44.00							
12.00	8.43	44.34							
13.00	9.13	44.68							
14.00	9.83	45.03							
15.00	10.53	45.38							
16.00	11.24	45.74							
17.00	11.94	46.11							
18.00	12.64	46.48							
19.00	13.34	46.85							
20.00	14.04	47.24							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

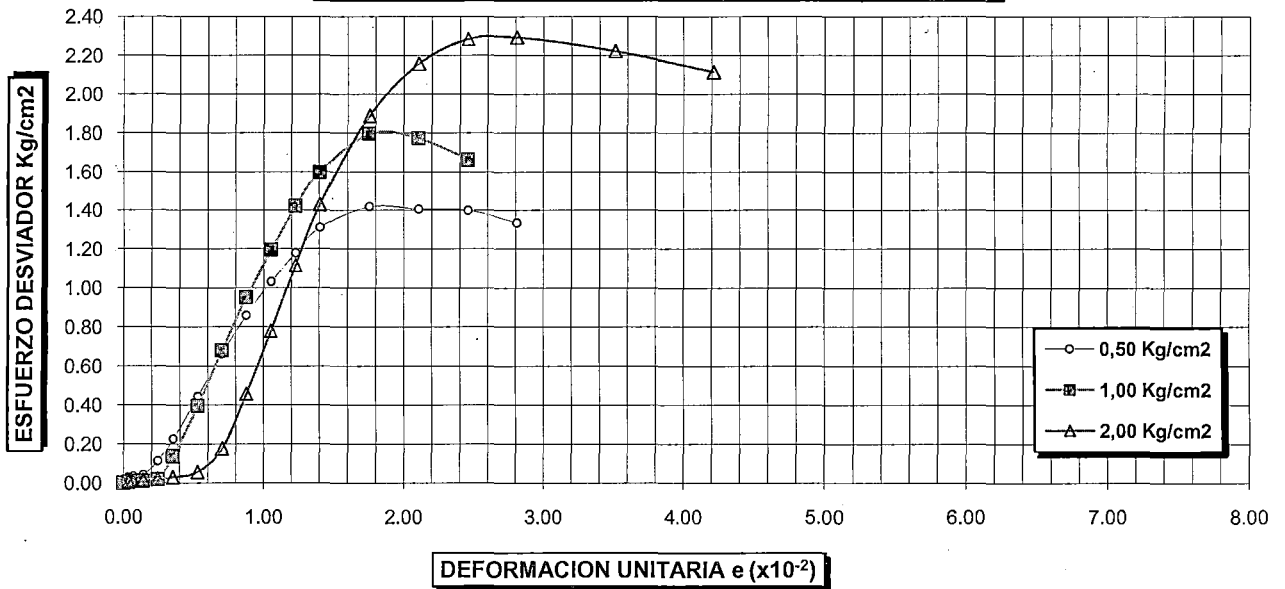
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

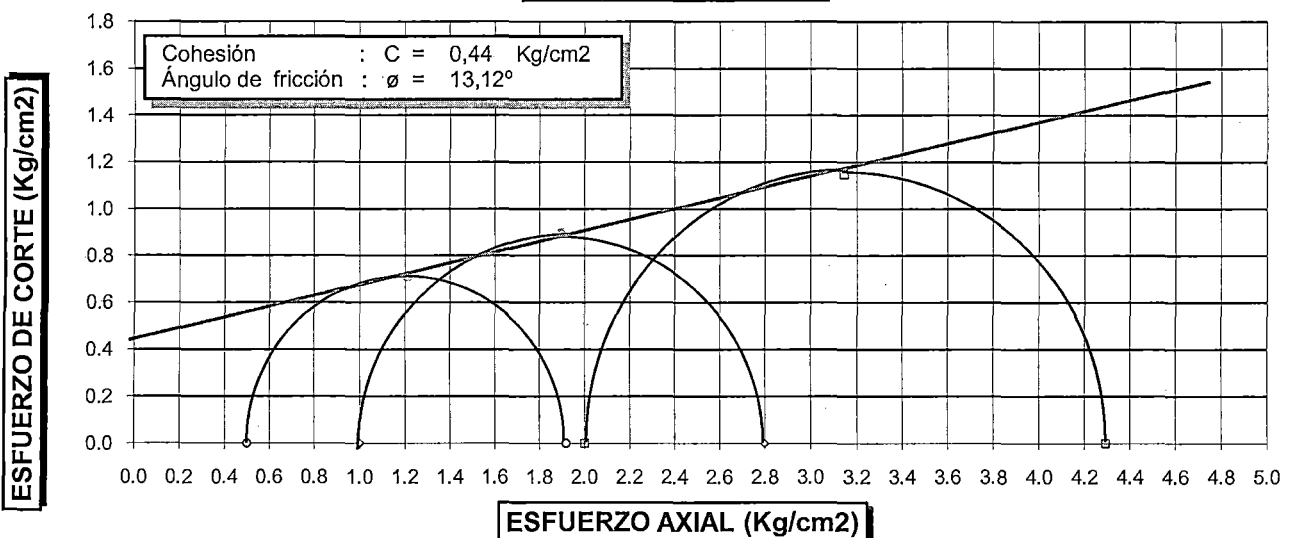
ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	4
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1

DEFORMACION AXIAL vs. ESFUERZO DESVIADOR



CIRCULO DE MOHR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	6
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	7.84		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1239.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.23
ALTURA Lo(cm)	14.24		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.05		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	0.5
AREA Ao (cm2)	39.036		ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - e)$	Carga (kg) P	Est. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s_1/s_3)
0.00	0.00	39.04	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	39.05	1.10	0.03	0.53	0.51	0.01	0.03	1.06
0.10	0.07	39.06	2.00	0.05	0.55	0.53	0.03	0.05	1.10
0.20	0.14	39.09	3.40	0.09	0.59	0.54	0.04	0.08	1.17
0.35	0.25	39.13	4.30	0.11	0.61	0.55	0.05	0.10	1.22
0.50	0.35	39.17	5.30	0.14	0.64	0.57	0.07	0.12	1.27
0.75	0.53	39.24	6.10	0.16	0.66	0.58	0.08	0.13	1.31
1.00	0.70	39.31	11.80	0.30	0.80	0.65	0.15	0.23	1.60
1.25	0.88	39.38	16.30	0.41	0.91	0.71	0.21	0.29	1.83
1.50	1.05	39.45	20.50	0.52	1.02	0.76	0.26	0.34	2.04
1.75	1.23	39.52	25.40	0.64	1.14	0.82	0.32	0.39	2.29
2.00	1.40	39.59	29.10	0.73	1.23	0.87	0.37	0.42	2.47
2.50	1.76	39.73	34.80	0.88	1.38	0.94	0.44	0.47	2.75
3.00	2.11	39.88	36.40	0.91	1.41	0.96	0.46	0.48	2.83
3.50	2.46	40.02	34.90	0.87	1.37	0.94	0.44	0.47	2.74
4.00	2.81	40.16	32.30	0.80	1.30	0.90	0.40	0.45	2.61
5.00	3.51	40.46	26.30	0.65	1.15	0.83	0.33	0.39	2.30
6.00	4.21	40.75							
7.00	4.92	41.05							
8.00	5.62	41.36							
9.00	6.32	41.67							
10.00	7.02	41.98							
11.00	7.72	42.30							
12.00	8.43	42.63							
13.00	9.13	42.96							
14.00	9.83	43.29							
15.00	10.53	43.63							
16.00	11.24	43.98							
17.00	11.94	44.33							
18.00	12.64	44.68							
19.00	13.34	45.05							
20.00	14.04	45.41							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	6
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	7.02		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1224.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.20
ALTURA Lo(cm)	14.24		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.05		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	1.0
AREA Ao (cm2)	39.036		ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - e)$	Carga (kg) P	Esf. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	39.04	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	39.05	0.60	0.02	1.02	1.01	0.01	0.01	1.02
0.10	0.07	39.06	1.20	0.03	1.03	1.02	0.02	0.02	1.03
0.20	0.14	39.09	2.80	0.07	1.07	1.04	0.04	0.03	1.07
0.35	0.25	39.13	3.10	0.08	1.08	1.04	0.04	0.04	1.08
0.50	0.35	39.17	3.60	0.09	1.09	1.05	0.05	0.04	1.09
0.75	0.53	39.24	4.50	0.11	1.11	1.06	0.06	0.05	1.11
1.00	0.70	39.31	6.90	0.18	1.18	1.09	0.09	0.08	1.18
1.25	0.88	39.38	14.80	0.38	1.38	1.19	0.19	0.16	1.38
1.50	1.05	39.45	20.70	0.52	1.52	1.26	0.26	0.21	1.52
1.75	1.23	39.52	26.90	0.68	1.68	1.34	0.34	0.25	1.68
2.00	1.40	39.59	34.80	0.88	1.88	1.44	0.44	0.31	1.88
2.50	1.76	39.73	40.20	1.01	2.01	1.51	0.51	0.34	2.01
3.00	2.11	39.88	44.60	1.12	2.12	1.56	0.56	0.36	2.12
3.50	2.46	40.02	45.20	1.13	2.13	1.56	0.56	0.36	2.13
4.00	2.81	40.16	44.30	1.10	2.10	1.55	0.55	0.36	2.10
5.00	3.51	40.46	41.20	1.02	2.02	1.51	0.51	0.34	2.02
6.00	4.21	40.75							
7.00	4.92	41.05							
8.00	5.62	41.36							
9.00	6.32	41.67							
10.00	7.02	41.98							
11.00	7.72	42.30							
12.00	8.43	42.63							
13.00	9.13	42.96							
14.00	9.83	43.29							
15.00	10.53	43.63							
16.00	11.24	43.98							
17.00	11.94	44.33							
18.00	12.64	44.68							
19.00	13.34	45.05							
20.00	14.04	45.41							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

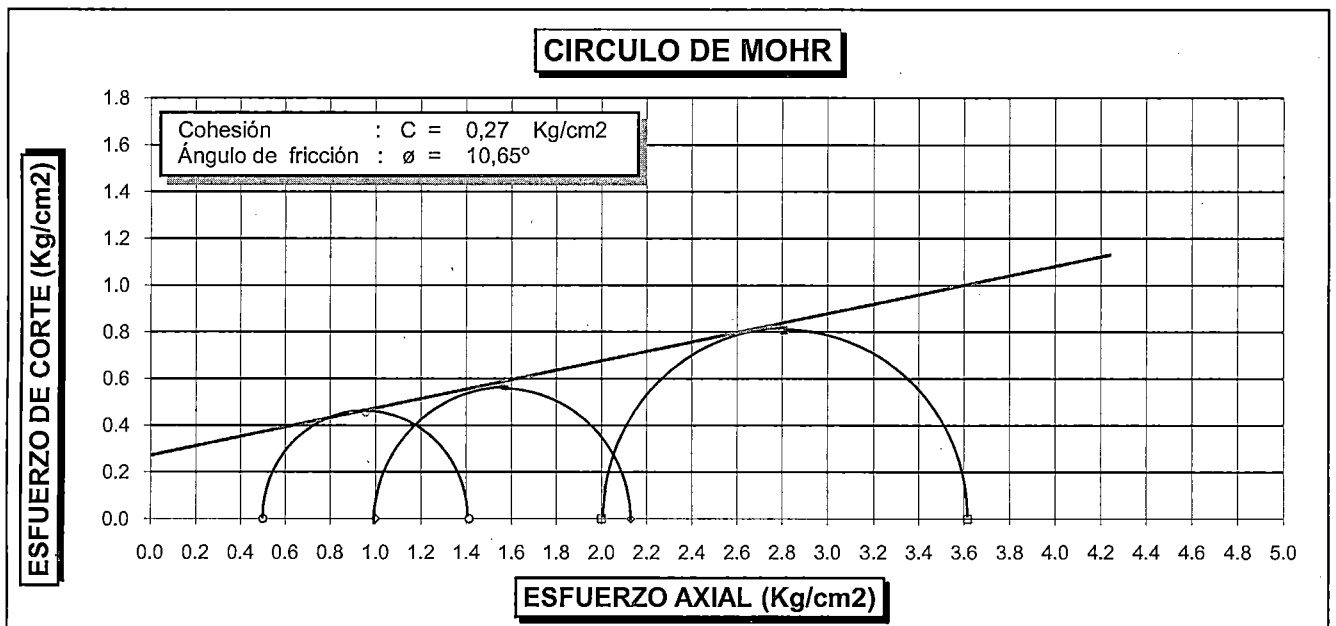
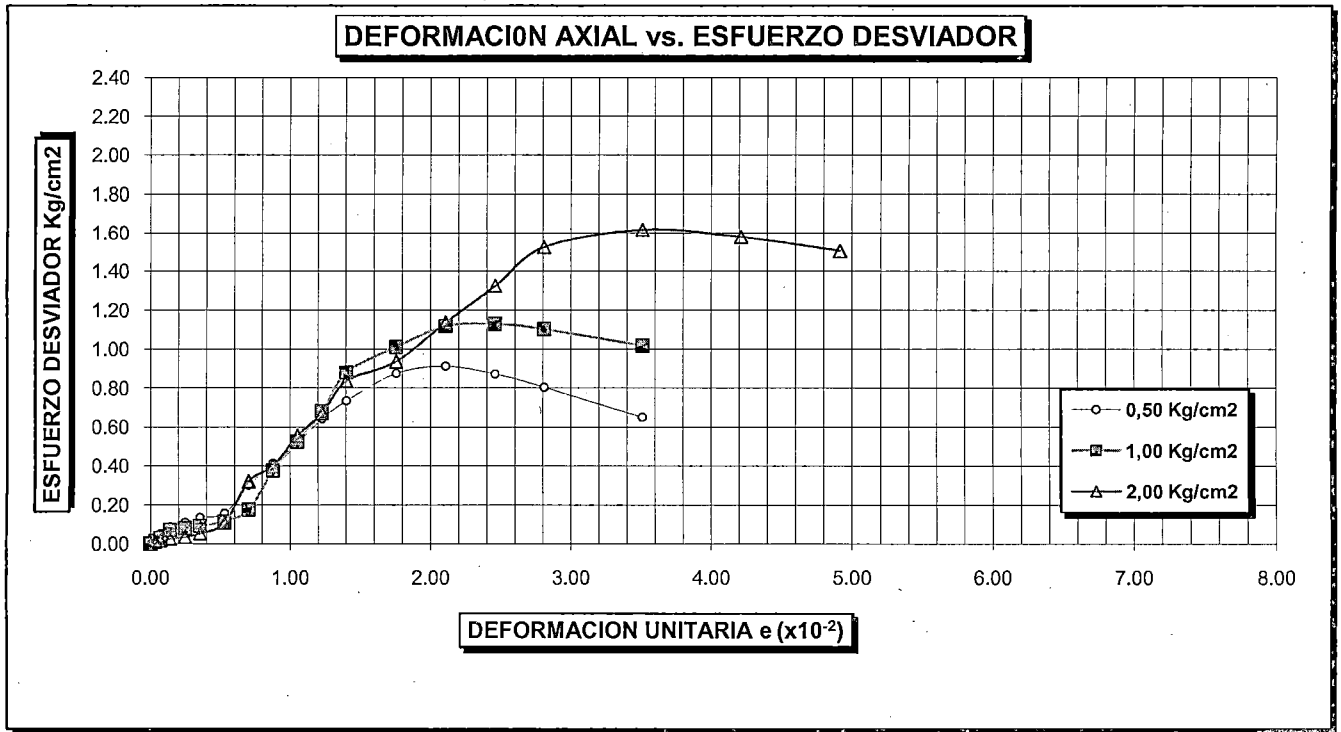
TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	6
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	7.9		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1230.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.21
ALTURA Lo(cm)	14.24		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.05		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	2.0
AREA Ao (cm2)	39.036		ESPECIMEN Nro.	03

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^2$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Esf. Dev. (Kg/cm ²) $s = P/A$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	39.04	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	39.05	0.40	0.01	2.01	2.01	0.01	0.00	1.01
0.10	0.07	39.06	0.70	0.02	2.02	2.01	0.01	0.00	1.01
0.20	0.14	39.09	1.00	0.03	2.03	2.01	0.01	0.01	1.01
0.35	0.25	39.13	1.40	0.04	2.04	2.02	0.02	0.01	1.02
0.50	0.35	39.17	2.10	0.05	2.05	2.03	0.03	0.01	1.03
0.75	0.53	39.24	4.20	0.11	2.11	2.05	0.05	0.03	1.05
1.00	0.70	39.31	12.60	0.32	2.32	2.16	0.16	0.07	1.16
1.25	0.88	39.38	15.70	0.40	2.40	2.20	0.20	0.09	1.20
1.50	1.05	39.45	21.90	0.56	2.56	2.28	0.28	0.12	1.28
1.75	1.23	39.52	26.50	0.67	2.67	2.34	0.34	0.14	1.34
2.00	1.40	39.59	33.10	0.84	2.84	2.42	0.42	0.17	1.42
2.50	1.76	39.73	37.20	0.94	2.94	2.47	0.47	0.19	1.47
3.00	2.11	39.88	45.30	1.14	3.14	2.57	0.57	0.22	1.57
3.50	2.46	40.02	53.00	1.32	3.32	2.66	0.66	0.25	1.66
4.00	2.81	40.16	61.20	1.52	3.52	2.76	0.76	0.28	1.76
5.00	3.51	40.46	65.40	1.62	3.62	2.81	0.81	0.29	1.81
6.00	4.21	40.75	64.30	1.58	3.58	2.79	0.79	0.28	1.79
7.00	4.92	41.05	61.70	1.50	3.50	2.75	0.75	0.27	1.75
8.00	5.62	41.36							
9.00	6.32	41.67							
10.00	7.02	41.98							
11.00	7.72	42.30							
12.00	8.43	42.63							
13.00	9.13	42.96							
14.00	9.83	43.29							
15.00	10.53	43.63							
16.00	11.24	43.98							
17.00	11.94	44.33							
18.00	12.64	44.68							
19.00	13.34	45.05							
20.00	14.04	45.41							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU
ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	6
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	8
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	6.62		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1241.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm ³)	2.14
ALTURA Lo(cm)	14.27		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.20		PRESIÓN CELDA (kg/cm ²) s3	0.5
AREA Ao (cm ²)	40.715		ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Est. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.72	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.73	0.30	0.01	0.51	0.50	0.00	0.01	1.01
0.10	0.07	40.74	0.40	0.01	0.51	0.50	0.00	0.01	1.02
0.20	0.14	40.77	0.70	0.02	0.52	0.51	0.01	0.02	1.03
0.35	0.25	40.82	1.20	0.03	0.53	0.51	0.01	0.03	1.06
0.50	0.35	40.86	1.70	0.04	0.54	0.52	0.02	0.04	1.08
0.75	0.53	40.93	2.90	0.07	0.57	0.54	0.04	0.07	1.14
1.00	0.70	41.00	4.00	0.10	0.60	0.55	0.05	0.09	1.20
1.25	0.88	41.07	5.20	0.13	0.63	0.56	0.06	0.11	1.25
1.50	1.05	41.15	6.30	0.15	0.65	0.58	0.08	0.13	1.31
1.75	1.23	41.22	7.80	0.19	0.69	0.59	0.09	0.16	1.38
2.00	1.40	41.29	9.20	0.22	0.72	0.61	0.11	0.18	1.45
2.50	1.75	41.44	12.80	0.31	0.81	0.65	0.15	0.24	1.62
3.00	2.10	41.59	15.70	0.38	0.88	0.69	0.19	0.27	1.76
3.50	2.45	41.74	18.50	0.44	0.94	0.72	0.22	0.31	1.89
4.00	2.80	41.89	20.60	0.49	0.99	0.75	0.25	0.33	1.98
5.00	3.50	42.19	24.10	0.57	1.07	0.79	0.29	0.36	2.14
6.00	4.20	42.50	26.10	0.61	1.11	0.81	0.31	0.38	2.23
7.00	4.91	42.82	26.80	0.63	1.13	0.81	0.31	0.38	2.25
8.00	5.61	43.13	26.40	0.61	1.11	0.81	0.31	0.38	2.22
9.00	6.31	43.46	25.80	0.59	1.09	0.80	0.30	0.37	2.19
10.00	7.01	43.78							
11.00	7.71	44.12							
12.00	8.41	44.45							
13.00	9.11	44.80							
14.00	9.81	45.14							
15.00	10.51	45.50							
16.00	11.21	45.86							
17.00	11.91	46.22							
18.00	12.61	46.59							
19.00	13.31	46.97							
20.00	14.02	47.35							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	8
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	6.41		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1231.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.12
ALTURA Lo(cm)	14.27		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.20		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	1.0
AREA Ao (cm2)	40.715		ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - e)$	Carga (kg) P	Esf. Dev. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.72	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.73	0.10	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.10	0.07	40.74	0.30	0.01	1.01	1.00	0.00	0.00	1.01
0.20	0.14	40.77	0.70	0.02	1.02	1.01	0.01	0.01	1.02
0.35	0.25	40.82	1.70	0.04	1.04	1.02	0.02	0.02	1.04
0.50	0.35	40.86	2.50	0.06	1.06	1.03	0.03	0.03	1.06
0.75	0.53	40.93	4.30	0.11	1.11	1.05	0.05	0.05	1.11
1.00	0.70	41.00	6.30	0.15	1.15	1.08	0.08	0.07	1.15
1.25	0.88	41.07	8.20	0.20	1.20	1.10	0.10	0.09	1.20
1.50	1.05	41.15	10.10	0.25	1.25	1.12	0.12	0.11	1.25
1.75	1.23	41.22	12.10	0.29	1.29	1.15	0.15	0.13	1.29
2.00	1.40	41.29	14.40	0.35	1.35	1.17	0.17	0.15	1.35
2.50	1.75	41.44	18.50	0.45	1.45	1.22	0.22	0.18	1.45
3.00	2.10	41.59	21.20	0.51	1.51	1.25	0.25	0.20	1.51
3.50	2.45	41.74	24.70	0.59	1.59	1.30	0.30	0.23	1.59
4.00	2.80	41.89	27.90	0.67	1.67	1.33	0.33	0.25	1.67
5.00	3.50	42.19	32.20	0.76	1.76	1.38	0.38	0.28	1.76
6.00	4.20	42.50	34.80	0.82	1.82	1.41	0.41	0.29	1.82
7.00	4.91	42.82	36.10	0.84	1.84	1.42	0.42	0.30	1.84
8.00	5.61	43.13	37.40	0.87	1.87	1.43	0.43	0.30	1.87
9.00	6.31	43.46	33.60	0.77	1.77	1.39	0.39	0.28	1.77
10.00	7.01	43.78							
11.00	7.71	44.12							
12.00	8.41	44.45							
13.00	9.11	44.80							
14.00	9.81	45.14							
15.00	10.51	45.50							
16.00	11.21	45.86							
17.00	11.91	46.22							
18.00	12.61	46.59							
19.00	13.31	46.97							
20.00	14.02	47.35							




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

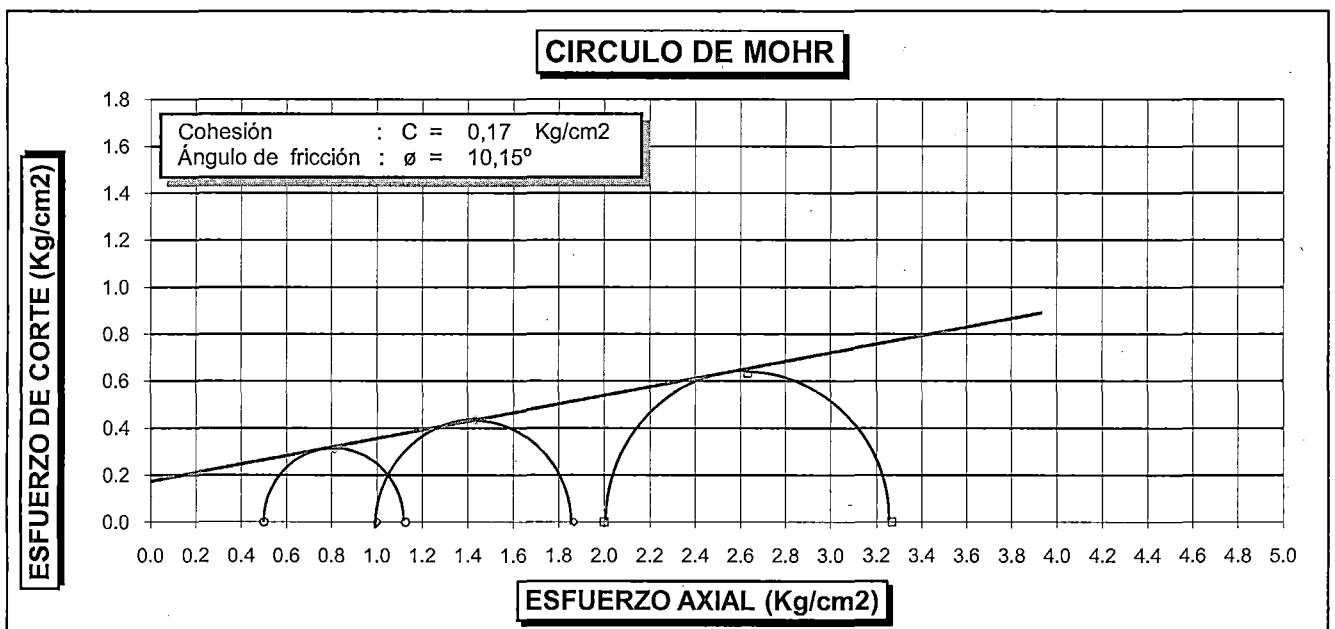
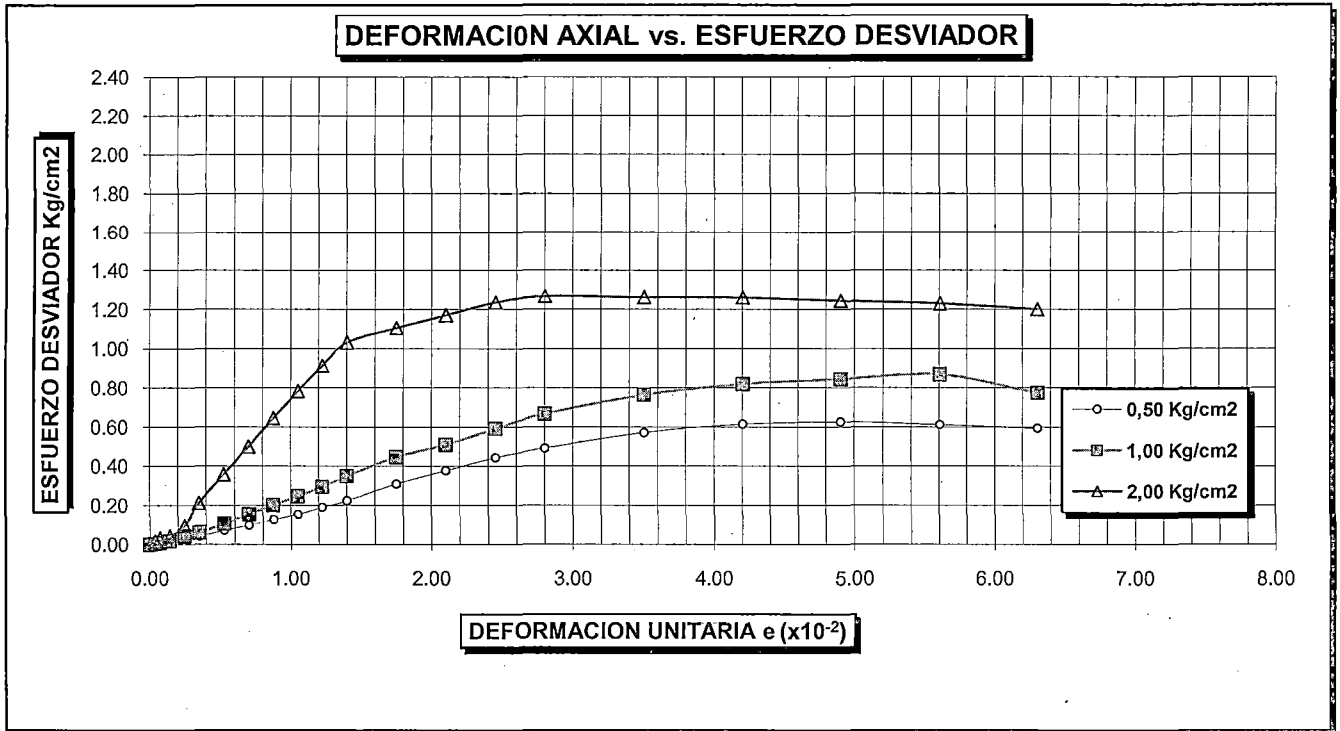
TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	8
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	7.12		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1235.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.13
ALTURA Lo(cm)	14.27		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.20		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	2.0
AREA Ao (cm2)	40.715		ESPECIMEN Nro.	03

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Esf. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	40.72	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	40.73	0.70	0.02	2.02	2.01	0.01	0.00	1.01
0.10	0.07	40.74	1.30	0.03	2.03	2.02	0.02	0.01	1.02
0.20	0.14	40.77	1.70	0.04	2.04	2.02	0.02	0.01	1.02
0.35	0.25	40.82	3.90	0.10	2.10	2.05	0.05	0.02	1.05
0.50	0.35	40.86	8.60	0.21	2.21	2.11	0.11	0.05	1.11
0.75	0.53	40.93	14.60	0.36	2.36	2.18	0.18	0.08	1.18
1.00	0.70	41.00	20.50	0.50	2.50	2.25	0.25	0.11	1.25
1.25	0.88	41.07	26.50	0.65	2.65	2.32	0.32	0.14	1.32
1.50	1.05	41.15	32.20	0.78	2.78	2.39	0.39	0.16	1.39
1.75	1.23	41.22	37.60	0.91	2.91	2.46	0.46	0.19	1.46
2.00	1.40	41.29	42.60	1.03	3.03	2.52	0.52	0.21	1.52
2.50	1.75	41.44	45.80	1.11	3.11	2.55	0.55	0.22	1.55
3.00	2.10	41.59	48.70	1.17	3.17	2.59	0.59	0.23	1.59
3.50	2.45	41.74	51.60	1.24	3.24	2.62	0.62	0.24	1.62
4.00	2.80	41.89	53.10	1.27	3.27	2.63	0.63	0.24	1.63
5.00	3.50	42.19	53.30	1.26	3.26	2.63	0.63	0.24	1.63
6.00	4.20	42.50	53.60	1.26	3.26	2.63	0.63	0.24	1.63
7.00	4.91	42.82	53.30	1.24	3.24	2.62	0.62	0.24	1.62
8.00	5.61	43.13	53.10	1.23	3.23	2.62	0.62	0.24	1.62
9.00	6.31	43.46	52.20	1.20	3.20	2.60	0.60	0.23	1.60
10.00	7.01	43.78							
11.00	7.71	44.12							
12.00	8.41	44.45							
13.00	9.11	44.80							
14.00	9.81	45.14							
15.00	10.51	45.50							
16.00	11.21	45.86							
17.00	11.91	46.22							
18.00	12.61	46.59							
19.00	13.31	46.97							
20.00	14.02	47.35							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU
ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	8
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	10
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	5.92		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1160.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.44
ALTURA Lo(cm)	12.25		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.03		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	0.5
AREA Ao (cm2)	38.815		ESPECIMEN Nro.	01

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Esf. Dev. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	38.82	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	38.83	0.30	0.01	0.51	0.50	0.00	0.01	1.02
0.10	0.08	38.85	0.60	0.02	0.52	0.51	0.01	0.02	1.03
0.20	0.16	38.88	0.70	0.02	0.52	0.51	0.01	0.02	1.04
0.35	0.29	38.93	0.90	0.02	0.52	0.51	0.01	0.02	1.05
0.50	0.41	38.97	1.40	0.04	0.54	0.52	0.02	0.03	1.07
0.75	0.61	39.05	4.60	0.12	0.62	0.56	0.06	0.11	1.24
1.00	0.82	39.13	7.00	0.18	0.68	0.59	0.09	0.15	1.36
1.25	1.02	39.22	10.50	0.27	0.77	0.63	0.13	0.21	1.54
1.50	1.22	39.30	13.70	0.35	0.85	0.67	0.17	0.26	1.70
1.75	1.43	39.38	14.60	0.37	0.87	0.69	0.19	0.27	1.74
2.00	1.63	39.46	17.90	0.45	0.95	0.73	0.23	0.31	1.91
2.50	2.04	39.62	20.60	0.52	1.02	0.76	0.26	0.34	2.04
3.00	2.45	39.79	21.70	0.55	1.05	0.77	0.27	0.35	2.09
3.50	2.86	39.96	22.00	0.55	1.05	0.78	0.28	0.36	2.10
4.00	3.27	40.13	21.20	0.53	1.03	0.76	0.26	0.35	2.06
5.00	4.08	40.47	19.40	0.48	0.98	0.74	0.24	0.32	1.96
6.00	4.90	40.81							
7.00	5.71	41.17							
8.00	6.53	41.53							
9.00	7.35	41.89							
10.00	8.16	42.27							
11.00	8.98	42.64							
12.00	9.80	43.03							
13.00	10.61	43.42							
14.00	11.43	43.82							
15.00	12.24	44.23							
16.00	13.06	44.65							
17.00	13.88	45.07							
18.00	14.69	45.50							
19.00	15.51	45.94							
20.00	16.33	46.39							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	10
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	6.47		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1162.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.10
ALTURA Lo(cm)	14.25		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.03		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	1.0
AREA Ao (cm2)	38.815		ESPECIMEN Nro.	02

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Est. Dev. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0.00	0.00	38.82	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	38.83	0.20	0.01	1.01	1.00	0.00	0.00	1.01
0.10	0.07	38.84	0.20	0.01	1.01	1.00	0.00	0.00	1.01
0.20	0.14	38.87	0.50	0.01	1.01	1.01	0.01	0.01	1.01
0.35	0.25	38.91	0.80	0.02	1.02	1.01	0.01	0.01	1.02
0.50	0.35	38.95	1.10	0.03	1.03	1.01	0.01	0.01	1.03
0.75	0.53	39.02	2.00	0.05	1.05	1.03	0.03	0.02	1.05
1.00	0.70	39.09	4.80	0.12	1.12	1.06	0.06	0.06	1.12
1.25	0.88	39.16	8.00	0.20	1.20	1.10	0.10	0.09	1.20
1.50	1.05	39.23	11.20	0.29	1.29	1.14	0.14	0.12	1.29
1.75	1.23	39.30	14.70	0.37	1.37	1.19	0.19	0.16	1.37
2.00	1.40	39.37	18.10	0.46	1.46	1.23	0.23	0.19	1.46
2.50	1.75	39.51	24.40	0.62	1.62	1.31	0.31	0.24	1.62
3.00	2.11	39.65	27.70	0.70	1.70	1.35	0.35	0.26	1.70
3.50	2.46	39.79	29.50	0.74	1.74	1.37	0.37	0.27	1.74
4.00	2.81	39.94	29.70	0.74	1.74	1.37	0.37	0.27	1.74
5.00	3.51	40.23	27.60	0.69	1.69	1.34	0.34	0.26	1.69
6.00	4.21	40.52	26.20	0.65	1.65	1.32	0.32	0.24	1.65
7.00	4.91	40.82							
8.00	5.61	41.12							
9.00	6.32	41.43							
10.00	7.02	41.74							
11.00	7.72	42.06							
12.00	8.42	42.38							
13.00	9.12	42.71							
14.00	9.82	43.04							
15.00	10.53	43.38							
16.00	11.23	43.72							
17.00	11.93	44.07							
18.00	12.63	44.43							
19.00	13.33	44.79							
20.00	14.04	45.15							

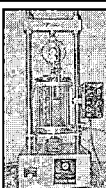


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU

ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO			
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES			
UBICACIÓN:	Puno		CONTENIDO ACEITE (%):	10
FECHA:	Abril del 2013		PROFUNDIDAD (m)	1.1
CONTENIDO HUMEDAD (%)	6.23		ESTADODE MUESTRA	Remoldeado
PESO (g)	1145.00		DENSIDAD HUMEDA (g/cm3)	2.07
ALTURA Lo(cm)	14.25		VELOCIDAD CARGA (mm/min)	0.50
DIAMETRO (cm)	7.03		PRESIÓN CELDA (kg/cm2) s3	2.0
AREA Ao (cm2)	38.815		ESPECIMEN Nro.	03

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Area Corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Carga (kg) P	Esf. Desv. (Kg/cm ²) $s = P / A'$	σ_1 (Kg/cm ²) $s_1 = s_3 + s$	p (Kg/cm ²) $p = (s_1 + s_3) / 2$	q (Kg/cm ²) $q = (s_1 - s_3) / 2$	q/p	Oblicuidad (s_1 / s_3)
0.00	0.00	38.82	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.04	38.83	0.30	0.01	2.01	2.00	0.00	0.00	1.00
0.10	0.07	38.84	0.60	0.02	2.02	2.01	0.01	0.00	1.01
0.20	0.14	38.87	0.90	0.02	2.02	2.01	0.01	0.01	1.01
0.35	0.25	38.91	2.30	0.06	2.06	2.03	0.03	0.01	1.03
0.50	0.35	38.95	5.20	0.13	2.13	2.07	0.07	0.03	1.07
0.75	0.53	39.02	9.20	0.24	2.24	2.12	0.12	0.06	1.12
1.00	0.70	39.09	13.60	0.35	2.35	2.17	0.17	0.08	1.17
1.25	0.88	39.16	18.20	0.46	2.46	2.23	0.23	0.10	1.23
1.50	1.05	39.23	22.80	0.58	2.58	2.29	0.29	0.13	1.29
1.75	1.23	39.30	27.10	0.69	2.69	2.34	0.34	0.15	1.34
2.00	1.40	39.37	32.20	0.82	2.82	2.41	0.41	0.17	1.41
2.50	1.75	39.51	38.50	0.97	2.97	2.49	0.49	0.20	1.49
3.00	2.11	39.65	42.00	1.06	3.06	2.53	0.53	0.21	1.53
3.50	2.46	39.79	43.10	1.08	3.08	2.54	0.54	0.21	1.54
4.00	2.81	39.94	42.80	1.07	3.07	2.54	0.54	0.21	1.54
5.00	3.51	40.23	41.10	1.02	3.02	2.51	0.51	0.20	1.51
6.00	4.21	40.52							
7.00	4.91	40.82							
8.00	5.61	41.12							
9.00	6.32	41.43							
10.00	7.02	41.74							
11.00	7.72	42.06							
12.00	8.42	42.38							
13.00	9.12	42.71							
14.00	9.82	43.04							
15.00	10.53	43.38							
16.00	11.23	43.72							
17.00	11.93	44.07							
18.00	12.63	44.43							
19.00	13.33	44.79							
20.00	14.04	45.15							



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES - FICA
 ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO - UU
 ASTM D - 2850

TESIS:	EFECTO DEL ACEITE RESIDUAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LOS FACTORES FÍSICO MECÁNICOS DEL SUELO		
EJECUTOR:	Samuel HUAQUISTO CÁCERES		
UBICACIÓN:	Puno	CONTENIDO ACEITE (%):	10
FECHA:	Abril del 2013	PROFUNDIDAD (m)	1.1

