

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“INFLUENCIA DE ACEITES RESIDUALES DE VEHÍCULOS  
MOTORIZADOS EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE  
SUELOS FINOS”**

**TESIS**

PRESENTADO POR:

**CARLOS ALBERTO MAMANI CUTIPA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO CIVIL**

PUNO - PERÚ  
2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“INFLUENCIA DE ACEITES RESIDUALES DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS EN  
LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE SUELOS FINOS”**

TESIS PRESENTADO POR:  
CARLOS ALBERTO MAMANI CUTIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO CIVIL**



FECHA DE SUSTENTACION: 27 DE DICIEMBRE DE 2017

**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

PRESIDENTE:

  
M.Sc. EMILIO CASTILLO ARONI

PRIMER MIEMBRO:

  
M.Sc. GINO FRANK LAQUE CORDOVA

SEGUNDO MIEMBRO:

  
ING. LUCIO QUISPE APAZA

DIRECTOR DE TESIS:

  
M.Sc. MARIANO ROBERTO GARCIA LOAYZA

TEMA: Influencia de agentes contaminantes en suelos para la construcción.

AREA: Geotecnia

LINEA DE INVESTIGACION: Geotecnia.

## DEDICATORIA.

***Carlos A. Mamani.***

*A mis padres: Inocensio y Elizabeth, por su apoyo constante y comprensión en esta etapa de mi vida, los cuales me han dado la confianza necesaria para poder vencer las dificultades que se presentan en el camino*

*A los dos grandes regalos que el señor me dio, mis tesoros: Carlos Eliseo y Jahaziel Alejandra por darme fuerzas para seguir adelante.*

*A mi compañera de vida, Rut por su motivación e inspiración para seguir adelante.*

*A todos ellos... Muchas Gracias.*

## AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios, que con su divina misericordia y bondad nos dio la fuerza, salud y perseverancia para poder hacer realidad el presente trabajo.

A mi institución, Universidad Nacional del Altiplano, y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por haberme dado la oportunidad de escalar un peldaño más, en el campo del conocimiento.

A mis jurados, Msc. Emilio Castillo Aroni, Ing. Gino Frank Laque Córdova e Ing. Lucio Quispe Apaza.

A mis amigos. Que siempre estuvieron conmigo brindándome su apoyo y colaboración desinteresada, a mis compañeros del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, al Ing. Roberto García que desinteresadamente me apoyo para la elaboración del presente trabajo.

A los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, quienes forjaron e inculcaron valores de esfuerzo y fortaleza para no desmayar ante las adversidades presentes en el camino.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
1.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	111
1.1.1    Problema general	11
1.1.2    Problemas específicos	111
1.2    ANTECEDENTES	122
1.3    JUSTIFICACIÓN	177
1.4    OBJETIVOS DEL ESTUDIO	177
1.4.1    Objetivo general	17
1.4.2    Objetivos específicos	17
1.5    HIPÓTESIS	18
1.5.1    Hipótesis general	18
1.5.2    Hipótesis específicas	18
1.6    OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	18
1.7    METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	20
1.7.1    Tipo de investigación	20
1.7.2    Nivel de investigación	20
1.7.3    Método de investigación	20
1.7.4    Muestra de estudio	20
<b>REVISIÓN DE LA LITERATURA</b>	<b>22</b>
2.1    PROPIEDADES GEOTECNICAS DEL SUELO.	22
2.1.1. ENSAYOS USADOS PARA CLASIFICAR SUELOS	22
<b>2.2.    CAPACIDAD DE CARGA (QU)</b>	<b>35</b>
2.4    ACEITE RESIDUAL	38
2.4.1    Definición	38
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>41</b>
3.1    AMBITO DE ESTUDIO	41
3.1.1.    Estudio y ubicación de la muestra.	41
3.2    POBLACIÓN Y MUESTRA	42
3.3    METODOLOGIA	43
3.3.1    Para la obtención del grupo control	43
3.3.2    Para determinar el efecto que presenta el incremento del aceite los parámetros de resistencia de suelos finos.	43
3.4    PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	44
3.5    METODOS ESTADISTICOS	45
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>47</b>
4.1    CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL SUELO NATURAL.	47
4.2    CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.	488
4.2.1    Plasticidad.	488
4.2.2    Cohesión y ángulo de fricción interna.	511
4.3.    COMPARACIÓN CON LA CAPACIDAD PORTANTE.	544
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.7</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>600</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. 1 <i>Matriz de consistencia: Objetivo General</i> .....	18
Tabla 1. 2 <i>Matriz de consistencia: Objetivos Específicos</i> .....	19
Tabla 2. 1 <i>Valores típicos de la consistencia del suelo</i> .....	26
Tabla 2. 2 <i>Clasificación granulométrica de los suelos</i> .....	28
Tabla 2. 3 <i>Símbolos de grupo SUCS</i> .....	30
Tabla 2. 4 <i>Tipología de suelos (SUCS)</i> .....	31
Tabla 4. 1 <i>Características granulométricas del suelo en estudio</i> .....	47
Tabla 4. 2 <i>Plasticidad del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2017</i> .....	49
Tabla 4. 3 <i>Cohesión y ángulo de fricción interna del suelo a diferentes contenidos de aceite</i> .....	52
Tabla 4. 4 <i>Cohesión y ángulo de fricción interna del suelo con la capacidad de carga admisible</i> .....	55

## ÍNDICE FIGURAS

<i>Figura 1. 1.</i> Organigrama para elaboración para especímenes para el ensayo triaxial UU.....	21
Figura 1. 2 Especímenes remoldeados para el ensayo triaxial UU .....	21
Figura 2. 1 Límites de Atterberg y Estados de Consistencia de un Suelo .....	23
Figura 2. 2 cuchara de casagrande .....	25
<i>Figura 2. 3</i> Curva granulométrica de un suelo .....	28
<i>Figura 2. 4 Interpretación de la Curva Granulométrica.</i> .....	30
<i>Figura 2. 5 Carta de Casagrande para los Suelos Cohesivos.</i> .....	32
<i>Figura 3. 1</i> Ubicación de la extracción de la muestra. ....	42
<i>Figura 4. 1</i> Se muestra la mezcla suelo - aceite residual para determinar su efecto a incrementos sucesivos. ....	48
<i>Figura 4. 2</i> Correlación r de Pearson en base a la tabla 4.2, programa IBM SPSS Statistics	49
<i>Figura 4. 3</i> Relación entre el contenido de aceite residual y los límites de plasticidad, Puno 2017.....	50
<i>Figura 4. 4</i> Correlación de Pearson para ángulo de fricción interna vs aceite residual .....	52
<i>Figura 4. 5</i> Relación entre el contenido de aceite residual y la cohesión, Puno 2017 .....	53
<i>Figura 4. 6</i> Relación entre el contenido de aceite residual y el ángulo de fricción interna....	53
<i>Figura 4. 7</i> Relación entre la variación de la cohesión, ángulo de fricción y el q Admisible. ....	56

## LISTA DE ACRÓNIMOS

C	: Cohesion del Suelo.
$\phi$	: Angulo de friccion del suelo.
L.L.	: Limite líquido.
L.P.	: Limite plástico.
IP	: Índice de plasticidad.
CL	: Arcilla de baja plasticidad.
qa	: Capacidad admisible
qu	: Capacidad portante del suelo
F.S.	: Factor de seguridad.
Nc, Nq, $N\gamma$	: Factores de capacidad de carga
q	: esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación.
$\gamma$	: peso específico del suelo.
B	: Ancho de la cimentación
Cu	: coeficiente de uniformidad
Cc	: coeficiente de curvatura
Dx	: Abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el x % en peso de la totalidad de la muestra de suelo analizada
u	: Media aritmética.
$\sigma^2$	: Varianza.
$\sigma$	: Desviación estándar.
Ho	: Hipótesis nula.
Ha	: Hipótesis alternativa.
$\alpha$	: Nivel de significancia.
Zo	: Estadístico de prueba.
W%	: Contenido de humedad
ASTM	: American Society of Testing Materials.
NTP	: Norma técnica peruana.



---

## Resumen

---

En la actualidad al año 2017 por el incremento del parque automotor en la ciudad de Puno se incrementa los aceites residuales que estos generan, impactando negativamente en suelos donde se ubican talleres de mantenimiento de vehículos tal es el caso de la Av. industrial ubicado en el centro poblado de Salcedo, es de interés conocer la influencia que tiene el aceite residual de vehículos motorizados en los parámetros de resistencia del suelo ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión (c), para lo cual se procedió con el mezclado de muestras con aceite residual 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, en peso seco y sometidos a ensayos de laboratorio, estableciendo primero las características iniciales del suelo, luego el efecto que ocasiona el incremento de aceite residual en los parámetros de resistencia del suelo. El estudio se realizó mediante la estadística correlacional. Usando el coeficiente de Pearson. Para los límites de consistencia los resultados indican que hay una reducción de los índices de plasticidad de 14.48% a 12.50% desde el 0% al 10% de aceite, con respecto a los parámetros de resistencia la cohesión reduce de 1.17 kg/cm<sup>2</sup> a 0.77 kg/cm<sup>2</sup>; pero en el rango de 5% a 10% no se aprecia un incremento o disminución notable, el ángulo de fricción interna baja considerablemente de 27.89° al 0% a 6.22° al 10% de aceite residual.

**Palabras clave:** Aceite residual, parámetros de resistencia (cohesión-ángulo de fricción), suelos finos, contaminación.

---

## Abstract

---

Currently, in 2017, due to the increase in the fleet of vehicles in the city of Puno, the waste oils generated increase, negatively impacting the floors where the vehicle maintenance workshops are located, such as Av. Industrial. Located in the city of Puno. Salcedo town center, it is interesting to know the influence of residual oil from motor vehicles on the parameters of resistance of the angle of friction ( $\phi$ ) and cohesion (c) of the soil, for which proceeded with the mixing of samples with oil residual 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0%, in dry weight and subjected to laboratory tests, establishing first the initial characteristics of the soil, then the effect that causes the increase of residual oil in the parameters of soil resistance. The study was carried out using correlational statistics. Using the Pearson coefficient. For the limits of consistency, the results indicate that there is a reduction of the plasticity indexes of 14.48% to 12.50% from 0% to 10% of oil, with respect to the resistance parameters the cohesion is reduced from 1.17 kg / cm<sup>2</sup> to 0.77 kg / cm<sup>2</sup>; but in the range of 5% to 10% there is no noticeable increase or decrease, the internal friction angle drops considerably from 27.89 ° to 0% to 6.22 ° to 10% residual oil.

Keywords: residual oil, resistance parameters (cohesion and friction angle), fine soils, contamination.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Planteamiento del problema

“A lo largo del desarrollo de la historia del ser humano, el “desarrollo” estuvo de la mano con el impacto ambiental, uno de ellos son los aceites residuales producidos por el parque automotor que a la actualidad está aumentando progresivamente, la mala evacuación y eliminación de dichos residuos están impactando directamente al suelo en lugares donde se ubican centros de cambio de aceite y plantas de proceso y explotación de agregados, sin embargo no se han estudiado los efectos que produce el agente contaminante en el suelo, básicamente en la propiedades mecánicas de suelo lo que ha inspirado la presente investigación: “INFLUENCIA DE ACEITES RESIDUALES DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE SUELOS FINOS”

##### 1.1.1 Problema general

- ¿Cómo influye el aceite residual de vehículos motorizados en los parámetros de resistencia de suelos finos, ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión (c)?

##### 1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye el aceite residual de vehículos del ángulo de fricción ( $\phi$ ) con incrementos de 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de aceite residual con respecto al suelo natural?
- ¿Cómo influye el aceite residual de vehículos motorizados en la cohesión (c) con incrementos de 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de aceite residual con respecto al suelo natural?
- ¿Cómo es la interacción del suelo con el agente contaminante (aceite residual en porcentajes de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%)?

## 1.2 Antecedentes

En el estudio: “Stabilization of fuel oil contaminated soil—A case study”, La contaminación con combustible líquido tiene un efecto adverso en las propiedades geotécnicas básicas del suelo de cimentación. El presente estudio se refiere a uno de estos casos, del complejo petroquímico cerca de la ciudad de Vadodara en el estado de Gujarat, India. Aquí, las muestras de suelo contaminadas con aceite combustible exhiben cambios drásticos en sus parámetros geotécnicos. Entre estos cambios nocivos cabe destacar: disminución en la densidad seca máxima (-4%), cohesión (-66%), ángulo de fricción interna (-23%) y resistencia a la compresión no confinada (UCS) (-35%) y aumento en líquido límite (+ 11%). Se ha intentado estabilizar el suelo contaminado utilizando varios aditivos, a saber, cal, ceniza volante y cemento de forma independiente, así como una mezcla de diferentes combinaciones. Es evidente a partir de los resultados de la prueba que los agentes de estabilización mejoraron las propiedades geotécnicas del suelo a través del intercambio de cationes, la aglomeración y las acciones pozzuolanic. Los mejores resultados se observaron cuando se agregó una combinación de 10% de cal, 5% de ceniza volante y 5% de cemento al suelo contaminado. La mejora en la resistencia a la compresión no confinada (UCS), la cohesión y el ángulo de fricción interna se puede atribuir a las neoformaciones, como los hidratos de silicato de calcio (CSH, CSH-1) que recubren y unen las partículas del suelo. La formación de un complejo estable entre el aceite y los cationes metálicos da como resultado una reducción del lixiviado. La cohesión y el ángulo de fricción interna se pueden atribuir a neoformaciones tales como los hidratos de silicato de calcio (CSH, CSH-1) que recubren y unen las partículas del suelo. La formación de un complejo estable entre el aceite y los cationes metálicos da como resultado la reducción del lixiviado. La cohesión y el ángulo de fricción interna se pueden atribuir a neoformaciones tales como los hidratos de silicato de calcio (CSH, CSH-1) que recubren y unen las partículas del suelo. La formación de un complejo estable entre el aceite y los cationes

metálicos da como resultado la reducción del lixiviado. (Sanjay J., A.V., Jignesh V., K.C., & D. Ramakrishnan, 2003, Volume 21)

En el Artículo, “Efecto Del Aceite Residual De Vehículos Motorizados En Los Factores Físicos Mecánicos Del Suelo Fino”. El hidrocarburo residual impacta en suelos donde se ubican talleres de mantenimiento de vehículos y plantas de procesamiento de áridos, siendo útil aplicarlo a la estabilización de suelos para obras de ingeniería. El objetivo del estudio es determinar el efecto que ocasiona el aceite residual de vehículos motorizados en los factores físico mecánicos del suelo fino. Para tal fin se procedió al mezclado de muestras desuelo con aceite residual, en las proporciones de 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10% en peso seco. Los resultados indican una disminución, desde el 0% al 10% de aceite, de los índices de plasticidad de 15.89% a 3.64%, de la densidad seca máxima de 1.96 g/cm<sup>3</sup> a 1.77 g/cm<sup>3</sup>, del contenido de humedad óptimo de 10.6% a 5.8% y de la permeabilidad de 1.18\*10<sup>-3</sup> cm/s a 9.86\*10<sup>-5</sup> cm/s. La resistencia a compresión simple aumenta hasta 7.61 kg/ cm<sup>2</sup> en un rango del 2% al 4%, más allá del 4% tiende a disminuir; también se observa una disminución de la cohesión de 0.34 kg/cm<sup>2</sup> a 0.16 kg/cm<sup>2</sup>; pero en el rango de 2% a 4% aumenta a 0.44 kg/cm<sup>2</sup>, el ángulo de fricción interna aumenta inicialmente de 9.52° al 0% a 13.12° al 4% de aceite residual luego de esto se observa un decremento no existiendo correlación. Por consiguiente, existe una correlación inversa entre el contenido de aceite residual y los factores físicos mecánicos del suelo fino, exceptuando al ángulo de fricción interna, considerándose adecuado su utilización del 2% al 4% para estabilización de suelos finos. (Huaquisto Caceres, 2015 Vol. 17 N°2)

En el artículo, “Uso De Aceite Quemado Para Mejorar Bases Y Subbases Granulares” describe el objetivo, metodología, análisis y conclusiones del estudio realizado entre la Universidad Militar Nueva Granada y Javeriana para utilizar aceite quemado arrojado por el parque automotor en la estabilización o mejora de las propiedades mecánicas de bases y subbases granulares y en mitigar el impacto ambiental que genera este producto.

El objetivo principal de la investigación está constituido en determinar la capacidad que tiene el aceite quemado que producen las máquinas en estabilizar y/o mejorar las bases y subbases granulares.

La metodología empleada para el desarrollo de la investigación se efectuó con una caracterización mecánica del material granular y del aceite quemado a utilizar, posteriormente mediante la ejecución de ensayos proctor modificado se calculó la humedad óptima del material granular, así como, la humedad óptima pero con la combinación de aceite y agua en diferentes porcentajes. Finalmente, con las humedades óptimas se procedió a realizar los ensayos de C.B.R. y compresiones simples y determinar la viabilidad del uso de aceite quemado en las bases y subbases granulares para mejorar sus propiedades mecánicas. (Reyes Ortiz & Porras, 2016)

El efecto del petróleo en el medioambiente es un tema sumamente difícil de debatir, por cualquiera de las siguientes razones: (1) El "aceite" no es un compuesto único, sino una mezcla compleja de sustancias químicas que tienen diferentes toxicidades y mecanismos de acción ; (2) el aceite derramado cambia constantemente en el medio ambiente debido a los procesos físicos y biológicos de meteorización, lo que significa que su efecto tóxico también cambia con el tiempo; (3) diferentes organismos, e incluso diferentes etapas de la vida del mismo organismo, reaccionan de manera diferente a la exposición tóxica; (4) los efectos subletales de la exposición al petróleo pueden generar impactos en la población o en la comunidad años después de la exposición inicial; y (5) hay una gran cantidad que no entendemos acerca de los mecanismos de toxicidad, y cómo los diferentes componentes de diferentes aceites confieren sus efectos a los organismos. (Shigenaka, 2011)

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.” (Neder Muñoz & Marín, 2003)

En el artículo, “EFFECTS OF CRUDE OIL CONTAMINATION ON GEOTECHNICAL PROPERTIES OF CLAYEY AND SANDY SOILS” La llanura costera del sur de Irán en el Golfo Pérsico se enfrenta a la contaminación del petróleo debido a la explotación histórica del petróleo, las navegaciones y accidentes relacionados con los buques cisterna y las expansiones industriales petroquímicas en los últimos años. Por lo tanto, es importante investigar las propiedades geoquímicas de suelos y sedimentos costeros contaminados con petróleo para fines de ingeniería y ambientales. Aquí, se llevó a cabo un extenso programa de pruebas de laboratorio para determinar los efectos de la contaminación del petróleo crudo en algunas de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos y arenosos como CL, SM y SP muestreados de los suelos costeros de esta área. Las pruebas incluyeron propiedades básicas, límites de Atterberg, compactación, corte directo, compresión uniaxial y pruebas de permeabilidad en muestras de suelo limpias y contaminadas con las mismas densidades. Las muestras contaminadas se prepararon mezclando los suelos con aceite crudo en la cantidad de 2%, 4%, 8%, 12% y 16% en peso seco. Los resultados indicaron una disminución de la resistencia, la permeabilidad, la densidad seca máxima, el contenido de agua óptimo y los límites de Atterberg. El conocimiento de estos efectos de la contaminación del petróleo es importante en la ingeniería costera y las actividades de remediación ambiental de la llanura costera estudiada. (Khomehchiyan , Hossein Charkhabi, & Tajik, 2007 Volumen 89 N°3-4)

El presente estudio trata sobre el efecto de la contaminación por aceite de motor sobre las propiedades geotécnicas de la arcilla sobreconsolidada. El efecto de contaminación y la duración de la contaminación se logran al almacenar las muestras de arcilla en un tanque presurizado lleno de aceite de motor a una presión de aproximadamente 65 kPa, que es casi equivalente a la presión de sobrecarga que afectó a la arcilla en el campo. Se consideran cuatro

parámetros para seguir el efecto de contaminación; Los límites de Atterberg, la resistencia a la compresión no confinada, el coeficiente de permeabilidad y las características de compresibilidad. El estudio experimental revela que la resistencia a la compresión no confinada se reduce en aproximadamente un 38% en comparación con el valor de control (no contaminado). La reducción permanece por 6 meses y declina además de alcanzar un valor constante. La contaminación de la arcilla con aceite de motor conllevaba cambios microestructurales sustanciales: empaquetamiento relativamente suelto de partículas de arcilla y su desprendimiento de la superficie del grano. Los límites de Atterberg se reducen durante los primeros 3 meses de contaminación. Alcanzaron límites casi constantes hasta que la estructura de arcilla alcanzó el estado de estabilidad. Estos límites permanecen constantes durante 24 meses (duración del experimento). El coeficiente de permeabilidad es significativamente mayor y muestra una proporción directa con la duración de la contaminación de hasta 3 meses. La contaminación del petróleo muestra un efecto menor en la relación de sobreconsolidación. Los índices de compresión e hinchazón declaran una correlación positiva con la duración de la contaminación hasta 6 meses. Estos índices alcanzan casi el doble de los valores de control. Después de los primeros 6 meses de contaminación, estos índices permanecen constantes. (Nazir, 2011)



### 1.3 Justificación

El presente estudio tiene como propósito contribuir al conocimiento científico sobre la influencia que tiene el aceite residual en los parámetros de resistencia del suelo, (plasticidad, Angulo de fricción y cohesión). Dichos indicadores permitirán analizar el comportamiento de los suelos frente a cargas externas de una edificación. El aceite residual es perjudicial para terrenos agrícolas, alterando sus propiedades físicas del, químicas y biológicas.

En la región Puno no se cuenta con tecnologías para el tratamiento de aceites residuales. El crecimiento económico, el incremento del parque automotor, fabricas, ejecución de obras civiles han generado también el incremento de la generación de aceite residual es por eso que nace esta idea de investigación.

### 1.4 Objetivos del estudio

#### 1.4.1 Objetivo general

- Determinar la influencia de la contaminación de suelos finos con aceites residuales de vehículos motorizados en los parámetros de resistencia del suelo (ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y cohesión ( $c$ )), que están directamente relacionados con la capacidad portante del suelo.

#### 1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la variación del ángulo de fricción ( $\phi$ ) con incrementos de 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de aceite residual con respecto al suelo natural.
- Determinar la variación de la cohesión ( $c$ ) con incrementos de 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de aceite residual con respecto al suelo natural.
- Determinar la interacción del suelo con el agente contaminante (aceite residual en porcentajes de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%).

**1.5 Hipótesis**

**1.5.1 Hipótesis general**

- El aceite residual de vehículos motorizados disminuye los parámetros de resistencia ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión (c) del suelo fino del suelo.

**1.5.2 Hipótesis específicas**

- Al incrementar aceite residual al 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de aceite residual con respecto al peso seco disminuye el ángulo de fricción ( $\phi$ ).
- Al incrementar aceite residual al 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de aceite residual con respecto al peso seco disminuye la cohesión (c).
- Los límites de consistencia (LL y LP) disminuyen con aceite residual en porcentajes de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%,

**1.6 Operacionalización de variables**

La variable independiente estudiada es el porcentaje de Aceite Residual incluida en el suelo, y su incidencia en el ángulo de fricción ( $\phi$ ), cohesión (c), siendo éstas las variables dependientes.

Tabla 1. 1 *Matriz de consistencia: Objetivo General*  
 Matriz de consistencia: Objetivo General

	<b>Definición del problema</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Factor a medir</b>
<b>General</b>	¿Cómo influye el aceite residual de vehículos motorizados en los parámetros de resistencia de suelos finos, ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión (c)?	-El aceite residual de vehículos motorizados disminuye los parámetros de resistencia ángulo de fricción ( $\phi$ ) y cohesión (c) del suelo fino del suelo.	<b>INDEPENDIENTE</b> Dosificación del agente contaminante respecto al suelo natural.	Aceite residual.	% del aceite residual (2.5%, 5.0%, 7.5% y 10%).
			<b>DEPENDIENTE</b> Parámetros de resistencia del suelo ángulo de fricción ( $\phi$ ), cohesión (c).	Propiedades del suelo con la incorporación de aceites residuales.	Parámetros de resistencia del suelo ángulo de fricción ( $\phi$ ), cohesión (c). IP

Fuente: Propia

Tabla 1. 2 Matriz de consistencia: Objetivos Específicos  
Matriz de consistencia: Objetivos Específicos

	Definición del problema	Hipótesis	Variables	Indicadores	Factor a medir
Específico 01	¿Cómo influye el aceite residual de vehículos motorizados en los parámetros de resistencia de suelos finos, ángulo de fricción ( $\emptyset$ )?	-Al incrementar aceite residual al 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de aceite residual con respecto al peso seco disminuye el ángulo de fricción ( $\emptyset$ ).	<b>INDEPENDIENTE</b> Dosificación del agente contaminante respecto al suelo natural. <b>DEPENDIENTE</b> Parámetros de resistencia del suelo, ángulo de fricción ( $\emptyset$ ).	Aceite residual.  ENSAYO TRIAXIAL (UU)	% del aceite residual (2.5%, 5.0%, 7.5% y 10%). Cohesión (c).
Específico 02	¿Cómo influye el aceite residual de vehículos motorizados en los parámetros de resistencia de suelos finos, cohesión (c)?	- Al incrementar aceite residual al 2.5%, 5%, 7.5% y 10% de aceite residual con respecto al peso seco disminuye la cohesión (c).	<b>INDEPENDIENTE</b> Dosificación del agente contaminante respecto al suelo natural. <b>DEPENDIENTE</b> Parámetros de resistencia del suelo, cohesión (c).	Aceite residual.  ENSAYO TRIAXIAL (UU)	% del aceite residual (2.5%, 5.0%, 7.5% y 10%). Ángulo de fricción ( $\emptyset$ ).
Específico 03	¿Cómo influye el aceite residual de vehículos motorizados en los límites de consistencia del suelo?	-El aceite residual de vehículos motorizados disminuye los parámetros de resistencia ángulo de fricción ( $\emptyset$ ) y cohesión (c) del suelo fino del suelo.	<b>INDEPENDIENTE</b> Dosificación del agente contaminante respecto al suelo natural  <b>DEPENDIENTE</b> Limite Líquido. Limite plástico	Aceite residual.  Ensayo de limite líquido y limite plástico	% del aceite residual (2.5%, 5.0%, 7.5% y 10%)  Consistencia del material.

Fuente: Propia

## **1.7 Metodología de investigación**

### **1.7.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es del tipo: CORRELACIONAL puesto que tiene como propósito relacionar y vincular entre si los parámetros de resistencia del suelo con la inclusión de porcentajes de aceite residual de vehículos motorizados.

“La investigación Correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población”. (Hernández, 2006)

### **1.7.2 Nivel de investigación**

El nivel de esta investigación es EXPLICATIVO, ya que se estudian las causas que originan la variación de resultados al manipular la variable independiente.

“La investigación Explicativa pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian”. (Hernández, 2006)

### **1.7.3 Método de investigación**

El método de investigación es CUANTITATIVO, puesto que el medio de prueba de hipótesis se basa en mediciones numéricas y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

### **1.7.4 Muestra de estudio**

#### **1.7.4.1 Número de especímenes para ensayo triaxial.**

El siguiente organigrama presenta la cantidad de especímenes a preparar para realizar las comparaciones con respecto al suelo natural en condiciones remoldeadas con aceite residual de vehículos motorizados.

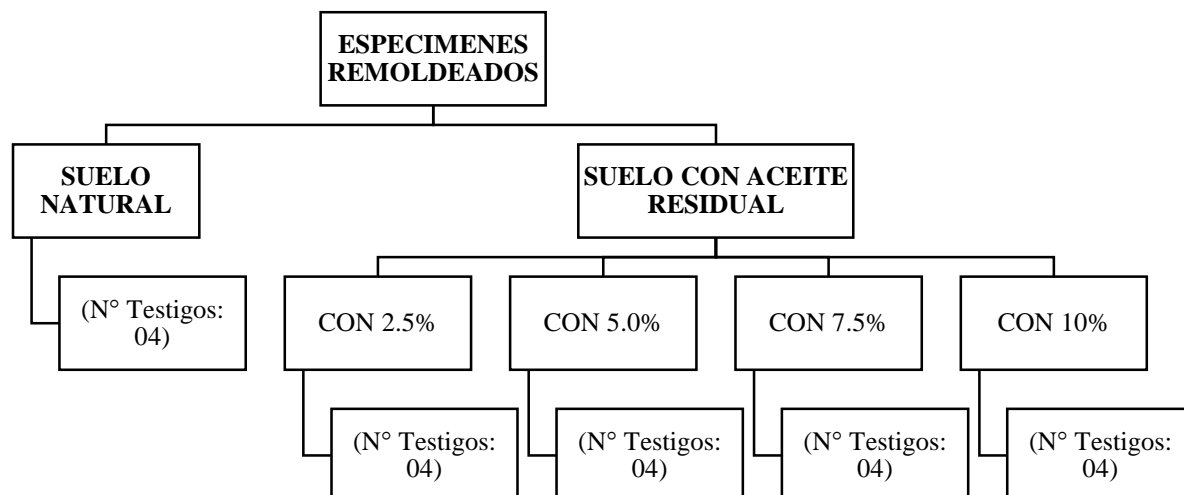


Figura 1. 1. Organigrama para elaboración para especímenes para el ensayo triaxial UU



Figura 1. 2 Especímenes remoldeados para el ensayo triaxial UU

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1 PROPIEDADES GEOTECNICAS DEL SUELO.

##### 2.1.1. ENSAYOS USADOS PARA CLASIFICAR SUELOS

###### A) LÍMITES DE ATTERBERG

**1.- Limite De Cohesión.** Es el contenido de humedad con el cual las boronas de suelo son capaces de pegarse unas a otras

**2.- Limite De Pegajosidad.** Es el contenido de humedad con el cual el suelo comienza a pegarse a las superficies metálicas tales como la cuchilla de la espátula. Esta condición tiene importancia práctica para el ingeniero agrícola pues se relaciona con la capacidad del suelo para adherirse a las cuchillas o discos del arado cuando se cultiva un suelo.

**3.- Limite De Contracción.** Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

**4.- Limite Plástico.** Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico.

**5.- Limite Líquido.** Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso (Bowles, 1981)

De los 5 “límites” propuestos por A. Atterberg en ingeniería civil se utilizan el límite de contracción, limite líquido y limite plástico.

Atterberg fue el primero que relacionó el grado de plasticidad de un suelo con su contenido en agua o **humedad**, expresado en función del peso seco de la muestra. También fue él quien definió los cuatro estados de consistencia de los suelos y determinó los límites entre ellos, observando la variación de diferentes propiedades físicas y mecánicas.

De los límites conocidos, nos interesa especialmente la determinación de los umbrales de los estados líquido (límite líquido) y plástico (límite plástico), ya que éstos presentan una alta deformabilidad del suelo y una drástica reducción de su capacidad portante. Afinando más todavía, el interés se centra en determinar el intervalo de humedad para el cual el suelo se comporta de manera plástica, es decir, su **plasticidad**.

Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, este puede fluir como un semilíquido. Si el suelo es secado gradualmente, se comportara como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. Este, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como límite líquido (LL). Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se definen como límite Plástico (LP) y el límite de retracción o contracción (LR), respectivamente. (Das, 2001)

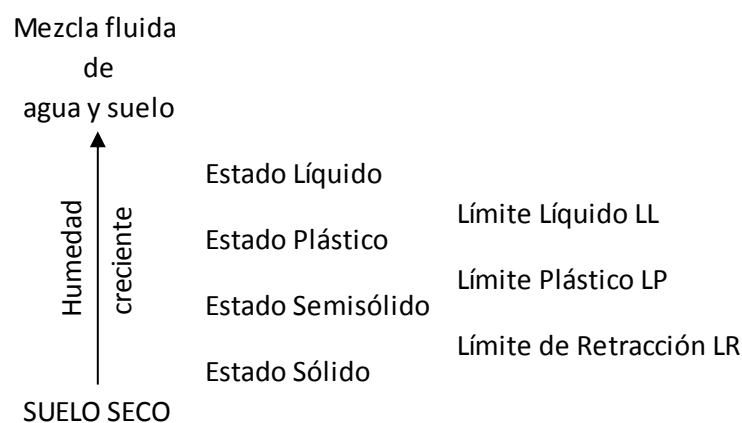


Figura 2. 1 Límites de Atterberg y Estados de Consistencia de un Suelo

### **A.1.- Determinación del Límite Líquido (LL)**

*AASHTO T089-02: Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils*

*ASTM D423-66 (1982): Method of Test for Liquid Limit of Soils*

#### **Descripción del Ensayo**

El límite líquido está definido, como el contenido de humedad en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico para pasar al estado líquido o semilíquido, en donde el suelo toma las propiedades y apariencias de una suspensión. Puesto que no existe una separación muy clara entre los estados de consistencia semilíquido, plástico y semisólido, se ha ideado el procedimiento estándar para la determinación de éste límite; el cual se denomina “método mecánico” el que ideó Casagrande y también denominado “Copa de Casagrande”.

El dispositivo o aparato diseñado por Arthur Casagrande, ha eliminado en su mayoría la influencia del factor personal en dicha prueba, el cual es una copa esférica con un radio interior de 54 mm, espesor de dos milímetros y peso de 200.20 g incluyendo el tacón los cuáles giran en torno a un eje fijo unido a la base. Casagrande (1932), determinó que el límite líquido es una medida de resistencia al corte del suelo a un determinado contenido de humedad y que cada golpe necesario para cerrar el surco, corresponde a un esfuerzo cortante cercano a 1 g/cm<sup>2</sup>. El límite líquido puede utilizarse para estimar asentamiento en problemas de consolidación y en conjunto con el límite plástico algunas veces pueden predecir la máxima densidad en estudios de compactación.

Para controlar la velocidad de golpeado de la copa, se debe rotar la manivela a una velocidad aproximadamente de 120 revoluciones por minuto o sea a una tasa de 120 golpes por minuto. (Crespo Villalaz, 2005)



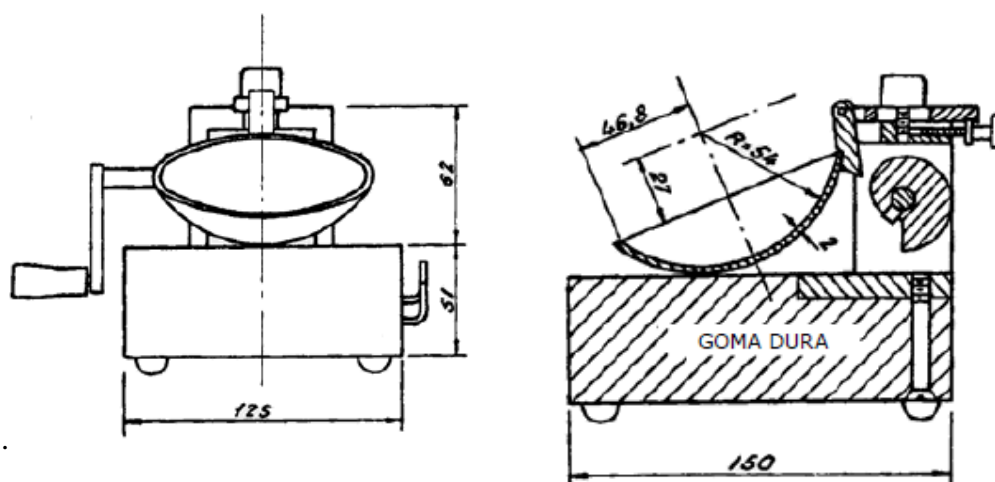


Figura 2. 2 cuchara de casagrande

### A.2.- Determinación del Límite Plástico (LP)

AASHTO T090-00: Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity index of Soils

ASTM D424-54 (1982): Standard Method of Test for Plastic Limit

#### Descripción del Ensayo

El límite plástico está definido como el contenido de humedad, en el cual una masa de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico; en el estado semisólido el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado y en el estado plástico el suelo se comporta plásticamente. Arbitrariamente, también se define como el contenido de humedad del suelo al cual un cilindro se rompe o se agrieta, cuando se enrolla a un diámetro aproximado de tres milímetros (1/8 plg), al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa.

Esta prueba es muy subjetiva (dependiente del operador) que el ensayo del límite líquido pues la definición del agrietamiento del cilindro de suelo así como el diámetro de tres milímetros están sujetos a la interpretación del operador. El diámetro del cilindro de

suelo puede establecerse por comparación con un alambre común o de soldadura del mismo diámetro. Con la práctica, se encuentra que los valores del límite plástico pueden reproducirse sobre el mismo suelo por parte de diferentes laboratorios dentro de un rango del uno al tres por ciento (Berry, 1993)

A la diferencia entre ambos límites se denomina **índice de plasticidad (IP)**, y da una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo; un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad:

$$IP = LL - LP$$

En la siguiente tabla se muestran los rangos de valores más frecuentes de todos estos parámetros en diferentes tipos de suelos:

*Tabla 2. 1* Valores típicos de la consistencia del suelo.

PARÁMETRO		TIPO DE SUELO		
		Arena	Limo	Arcilla
<b>LL</b>	Límite líquido	15 -20	30 - 40	<b>40 –150</b>
<b>LP</b>	Límite plástico	15 - 20	20 - 25	<b>25 – 50</b>
<b>IP</b>	<b>Índice de plasticidad</b>	<b>0 - 3</b>	<b>10 - 15</b>	<b>10 - 100</b>

Fuente: Juárez Badillo,2005

## **B) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (MÉTODO MECÁNICO)**

*AASHTO T087-86: Standard Method of Test for Dry Preparation of Disturbed Soil and Soil-Aggregate Samples for Test*

*ASTM D421-98: Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants*

*AASHTO T088-00: Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils*

*ASTM D422-02: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*

### Descripción del Ensayo

Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis por tamices se hace con la muestra entera, o bien, lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca a estufa una pequeña porción húmeda de material y luego se examina su resistencia en seco, rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de los mismos, entonces el análisis con tamices, se puede efectuar sin previo lavado. (Juárez Badillo, 2005)

El **tamiz** es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo; se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla caracterizada por un espaciado uniforme entre hilos denominado **abertura** o **luz de malla**, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar.

Se emplea una **serie normalizada** de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada cantidad de suelo seco, quedando retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz. Existen diversas series normalizadas de tamices, aunque las más empleadas son la UNE 7050 española y la ASTM D-2487/69 americana.

Una vez realizado el proceso de tamizado y sedimentación, se procede a pesar las cantidades retenidas en cada uno de los tamices, construyéndose una gráfica semilogarítmica donde se representa el porcentaje en peso de muestra retenida (o el que pasa) para cada abertura de tamiz.

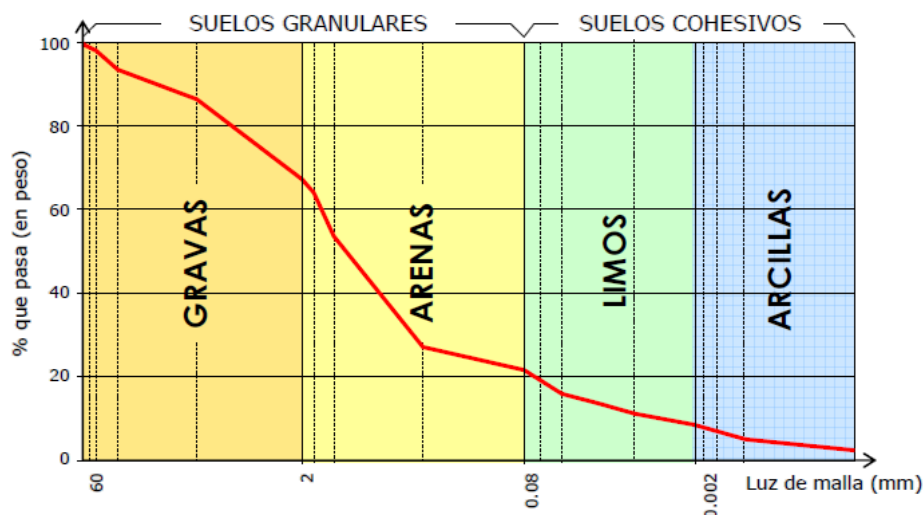


Figura 2. 3 Curva granulométrica de un suelo

Como aplicación directa de este ensayo, puede establecerse una clasificación genérica de suelos atendiendo a su granulometría:

Tabla 2. 2 Clasificación granulométrica de los suelos.  
Clasificación granulométrica de los suelos.

TIPO	DENOMINACIÓN		TAMAÑO (mm)
SUELOS GRANULARES	Bolos y bloques		> 60
	Grava	Gruesa	60 - 20
		Media	20 - 6
		Fina	2 - 6
	Arena	Gruesa	0.6 - 2
		Media	0.2 - 0.6
Fina		0.08 - 0.2	
SUELOS COHESIVOS	Limo	Gruesa	0.02 - 0.08
		Media	0.006 - 0.02
	Arcilla	Fina	0.002 - 0.006
			< 0.002

Fuente: Juárez Badillo 2005

De cara a determinar numéricamente la graduación de un suelo se emplea el **coeficiente de curvatura**, definido por la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}}$$

Dónde:  $D_x$  es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el x % en peso de la totalidad de la muestra de suelo analizada.

En carreteras, es importante que el suelo esté bien graduado para que al compactarlo, las partículas más finas ocupen los huecos que dejan los áridos de mayor tamaño, reduciendo de esta forma el número de huecos y alcanzando una mayor estabilidad y capacidad portante. Un suelo bien graduado presenta valores de  $C_c$  comprendidos entre 1 y 3 (Juárez Badillo, 2005).

Otro parámetro muy empleado para dar idea del grado de uniformidad de un suelo es el llamado **coeficiente de uniformidad**, definido por Hazen como la relación entre las aberturas de tamices por donde pasan el 60% y el 10% en peso de la totalidad de la muestra analizada:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ Según este coeficiente, un suelo que arroje valores inferiores a 2 se considera}$$

muy uniforme, mientras que un coeficiente inferior a 5 define un suelo uniforme.

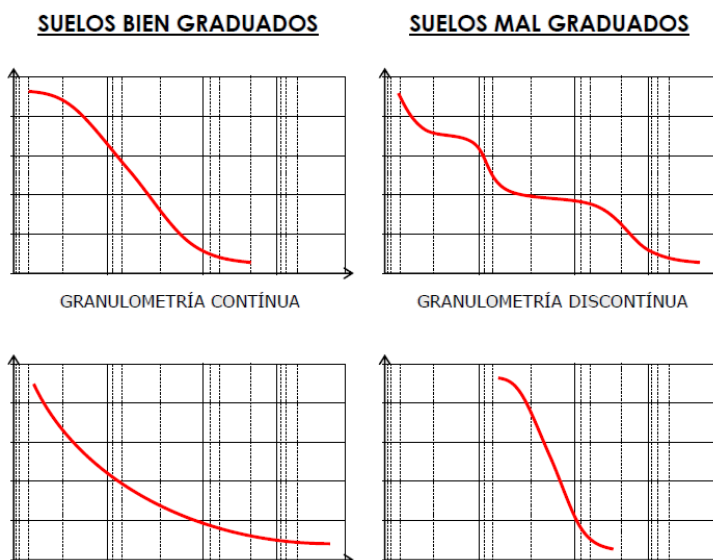


Figura 2. 4 Interpretación de la Curva Granulométrica.

**C). CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS**

Esta clasificación se vale de unos **símbolos de grupo**, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En el siguiente esquema se muestran dichos símbolos y su significado:

Tabla 2. 3 Símbolos de grupo SUCS  
Símbolos de grupo SUCS

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	H
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	L

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones:

Fuente: Das 2001

Tabla 2. 4 Tipología de suelos (SUCS)  
Tipología de suelos (SUCS)

SÍMBOLO		Características generales	
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
GP		(Finos<5%)	Pobremente graduadas
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
SP		(Finos<5%)	Pobremente graduadas
SM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: Das, 2001

- (a) **Suelos de grano grueso (G y S):** Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido en finos, empleando el tamiz #200 ASTM.
- (b) **Suelos de grano fino (M y C):** Formados por suelos con al menos un 50% de contenido en limos y arcillas.
- (c) **Suelos orgánicos (O, Pt):** Constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de cimentación.

Asimismo, dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre un 5 y un 12% de finos se clasificará como GW-GM.

Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelos de grano fino, Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). En este diagrama, conocido como la **carta de Casagrande** de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

$$\text{Línea A: } IP = 0.73 \cdot (LL - 20)$$

$$\text{Línea B: } LL = 50$$

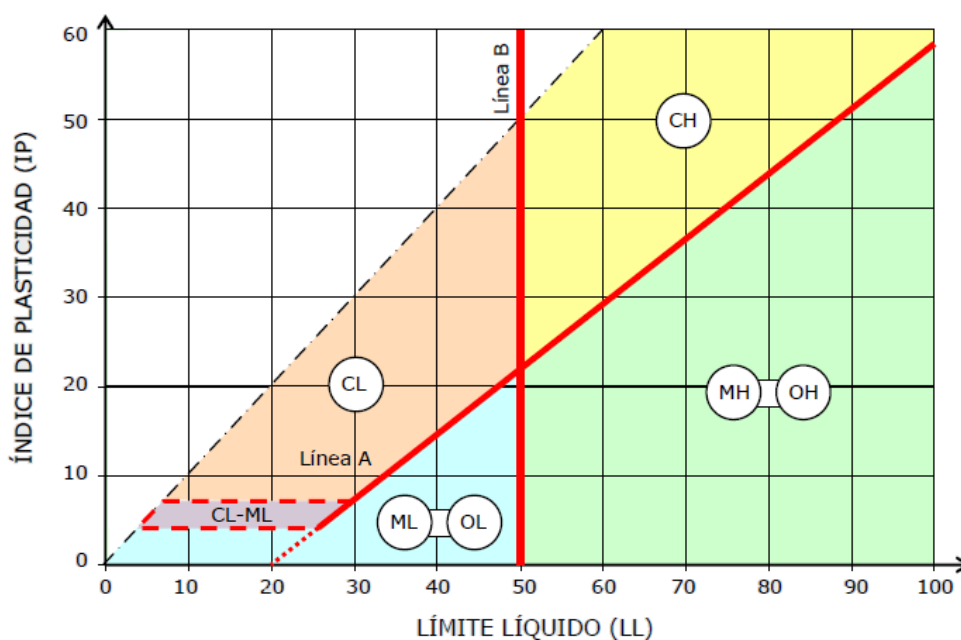


Figura 2. 5 Carta de Casagrande para los Suelos Cohesivos.

#### D). ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO.

##### PROCEDIMIENTO.

El siguiente procedimiento se refiere al equipo mostrado en las figuras 3 y 3A. Prepárese el pedestal en la siguiente forma:

- A. Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal (véase la Nota 2 más adelante).
- B. Colóquese un disco pulido de plexiglas o de teflón ligeramente mayor que la muestra sobre la piedra porosa en el pedestal y cúbrase tal disco con una película delgada de grasa



de silicona. El disco engrasado se emplea para reducir la fricción entre la muestra y la tapa del extremo y permitir así una deformación más uniforme. Colóquese la muestra sobre este disco. (Nota 2). Si se usa una relación H/D de 2.0 o mayor, los discos pulidos no se necesitan.

C. Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable, asegurándola con anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo. Colóquese un disco pulido, engrasado, una piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el extremo de la muestra. Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese.

Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de la guía y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.

D. Colóquese la cámara con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Aplíquese, mediante el regulador de presión, una presión lateral aproximadamente igual a la presión de confinamiento soportada por el suelo a la profundidad a la cual fue tomada la muestra.

E. Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado, por fricción o por empuje, debido a la presión de la cámara.

Anótese la lectura cero de los dispositivos de medida de carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de compresión.

F. Anótese las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños, para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. La razón de deformación deberá hallarse dentro del rango de 0.3 a 1.0 por ciento por minuto; se recomienda una rata de 0.5 por ciento. El criterio de falla deberá ser el del valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo.

Si no puede establecerse un máximo definido y el esfuerzo desviador continúa aumentando con la deformación, se toma la falla como el esfuerzo desviador a un 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos, puede adoptarse como criterio de falla.

G. Después de la falla, quítese toda presión y dréñese el fluido de confinamiento de la cámara. Desmóntese el aparato de ensayo, examínese la muestra y hágase un esquema del tipo de falla; pésese para secarla con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

Nota 2. En lugar de la piedra porosa y de los discos pulidos requeridos en el numeral 6.1 podrá

## CALCULOS

- Calcúlese la deformación axial, para una carga dada, así:

$$\Sigma = \Delta L / L_0$$

Donde:

$\Delta L$  = Cambio de longitud de la muestra determinado por el indicador de deformación,

y

$L_0$  = Longitud de la muestra después de la consolidación.

- Calcúlese el área promedio de la sección transversal A, para una carga dada, así:

$$A = A_0 / (1 - \Sigma)$$

Donde:

$A_0$  = Área de la sección transversal promedio inicial de la muestra.

$\Sigma$  = Deformación axial para la carga dada.

- El esfuerzo desviador por unidad de área,  $\sigma_d$ ; para una carga dada es:

$$\sigma_d = P / A$$

Donde:

$P$  = La carga desviadora aplicada, y

$A$  = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

- Dibújese la curva esfuerzo-deformación con el esfuerzo desviador como ordenada y la correspondiente deformación como abscisa.

- Utilícese el valor de  $s_1 - s_3$  en el punto de falla para dibujar en el formato del ensayo, el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro del círculo de Mohr en un punto que tenga el valor de  $s_3 + \frac{1}{2}(s_1 - s_3)$  a lo largo del eje del esfuerzo total.

- Ensáyense al menos tres muestras diferentes del material con distintas presiones laterales ( $s_3$ ). Dibújense los círculos de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos que intercepte al eje vertical del esfuerzo de corte.

## 2.2. CAPACIDAD DE CARGA ( $q_u$ )

Cuando una estructura transmite sus cargas al terreno a través de la cimentación se producen deformaciones por lo que es necesario obtener las características tanto del terreno como de la estructura optándose por cimentaciones superficiales o profundas, si el caso lo requiere dicha cimentación debe cumplir condiciones de estabilidad global, estabilidad frente al hundimiento, estabilidad frente al deslizamiento, estabilidad frente al vuelco y la capacidad estructural del cimiento. Los esfuerzos en los elementos estructurales que componen el cimiento pueden sobrepasar su capacidad de resistencia.

**Finalmente los parámetros que nos permiten determinar la capacidad portante del**

suelo son el ángulo de fricción interna del suelo y la cohesión del suelo y fue Karl Terzaghi quien propuso la siguiente expresión para calcular la capacidad portante que se indica:

$$qu = cNc + qNq + \frac{1}{2}\gamma BN\gamma \quad (\text{Das, 2001, pág. 157})$$

Donde:

c: cohesión

q: Df

$\gamma$ : peso específico del suelo.

Nc, Nq, N $\gamma$ : factores de capacidad de carga

Para el cálculo de la capacidad portante, capacidad admisible, o capacidad de soporte se emplea la fórmula:

$$qa = \frac{qu}{F.S.}$$

Donde:

qa: capacidad admisible

qu: capacidad portante del suelo

F.S.: factor de seguridad.

#### Para cimentaciones cuadradas:

$$qu = 1.3cNc + qNq + 0.4\gamma BN\gamma \quad (\text{Das, 2001, pág. 159})$$

Donde:

c: cohesión

q: Df

$\gamma$ : peso específico del suelo.

$N_c, N_q, N\gamma$ : factores de capacidad de carga

Como se puede deducir, los parámetros más importantes para la determinación de la capacidad portante del suelo son la cohesión y el ángulo de fricción interna, los cuales son afectados por la contaminación con aceite residual.

Las propiedades geotécnicas del suelo, como la distribución del tamaño del grano, la plasticidad, la compresibilidad y la resistencia por cortante, pueden ser determinadas mediante apropiadas pruebas de laboratorio, para esta investigación se utilizó el ensayo triaxial UU

Para la comparación de la variación de los parámetros de resistencia del suelo con la capacidad de carga del suelo se usara la formula sugerida por Meyerhof (1963:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

$c$  = cohesion

$q$  = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación.

$\gamma$  = peso específico del suelo.

$B$  = ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular)

Para la comprobación de la reducción de la capacidad de carga se utilizaron las siguientes formulas:

**Falla general por corte**

$$q_d = cN_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Donde:

$c$  = cohesion

$q$  = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación.

$\gamma$  = peso específico del suelo.

$B$  = ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular)

$$\left\{ \begin{array}{l} N_c = \cotg \phi (N_q - 1) \\ N_q = e^{\pi tg \phi} tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ N_v = 2 tg \phi (N_q + 1) \end{array} \right.$$

*Caquot y Kerisel, 1953*

## 2.4 ACEITE RESIDUAL

### 2.4.1 Definición

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 (Amer, A., Barberán, R., & Mur, J., 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" (Neder Muñoz & 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.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 AMBITO DE ESTUDIO

##### 3.1.1. Estudio y ubicación de la muestra.

El estudio realizado se encuentra en la Región de puno provincia de Puno. Los suelos presentes son de diferente naturaleza: gravas, arenas, arcillas, limos y turbas con sus distintas combinaciones; el estudio está referido a suelos finos, suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), los cuales se presenta en diferentes zonas de la Región 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 de investigación es la cantera Salcedo ubicado en el centro poblado de Salcedo, Provincia de Puno, Departamento de Puno, a una altitud de 3840 msnm latitud sur 15° 52' 19.92" longitud Oeste 70° 0'3.35" a un costado de la Avenida industrial, la precipitación promedio anual es menor a 700mm, temperatura variable con oscilaciones entre una temperatura promedio máxima de 22°C y una mínima de 1.4°C. El lugar presenta presencia de un Instituto destinado a la enseñanza de operación de maquinaria pesada, la avenida industrial está destinada para la ubicación de centros automotores y producción en general, actualmente no se visualiza la presencia de actividad automotriz como es el cambio de aceites.



*Figura 3. 1* Ubicación de la extracción de la muestra.

Fuente: <https://www.google.com.pe/maps>

### 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de la investigación está constituida por material obtenido de la cantera salcedo que es el material que predomina en la zona, este material este material es predominante en la zona, es por eso que se seleccionó de este lugar.

La muestra de estudio está constituida por suelos finos de baja plasticidad, este material se obtuvo de la cantera salcedo, para la extracción de las muestras de suelo se determinó a criterio del investigador. Se tomó en cuenta 04 puntos de muestreo a una profundidad de 0.50 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

### 3.3 METODOLOGIA

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 de los aceites residuales en los parámetros de resistencia de suelos finos, en la dosificación descrita (2.50%, 5.00%, 7.50% y 10.00% de aceite residual con respecto al peso seco).

#### 3.3.1 Para la obtención del grupo control

El grupo control consiste en la obtención de las características iniciales de la muestra

- Se realiza un estudio de alcance descriptivo para identificar las características granulométricas y de plasticidad del suelo
- El material utilizado es un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL)
- Los instrumentos utilizados fueron los equipos de laboratorio como:
- Juego de tamices, cuchara Casagrande y ranurador, vidrio esmerilado, balanza, horno.

#### 3.3.2 Para determinar el efecto que presenta el incremento del aceite los parámetros de resistencia de suelos finos.

Se presenta un estudio de alcance correlaciona! 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 ll) mezcla de suelo se introdujo en proporciones de 0.0%, 2.5% 5.0%, 7.5% y 10.0% del peso seco de la muestra.

Los instrumentos utilizados fueron los equipos de laboratorio como: equipo triaxial.

- Los factores mecánicos del suelo se presentan en indicadores como la cohesión (kg/cm<sup>2</sup>), el ángulo de fricción interna (°) y la resistencia a compresión inconfiada (kg/cm<sup>2</sup>), para el cual se tiene la ficha de observación de recolección de datos en cada ensayo.

### 3.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Salida de campo. Reconocimiento del lugar de estudio para la extracción de muestras.
- Toma de muestras. A una profundidad de 0.5 m, encontrándose material no alterado en esta zona, siendo variable esta profundidad debido visualmente no se encuentra perturbación en el material de estudio.
- Preparación de las muestras.
  - ✓ Grupo Control: Las muestras fueron secadas al sol para la realización de los ensayos.
  - ✓ Grupo Experimental: Las muestras fueron secadas al sol luego han sido mezclados con el aceite, en las proporciones 0.0%, 2.5% 5.0%, 7.5% y 10.0% y luego de ello han sido curadas, antes de la preparación para los ensayos.
- 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.
- Determinación de los parámetros de resistencia del suelo. Los parámetros de resistencia fueron determinados en laboratorio: Ensayo triaxial no consolidado no drenado, cohesión y ángulo de fricción del suelo, todas ellas realizadas sobre muestra remoldeadas a la máxima densidad seca y contenido de humedad natural de la muestra.

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

### 3.5 METODOS ESTADISTICOS

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

Fuente: Correlación Pearson

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

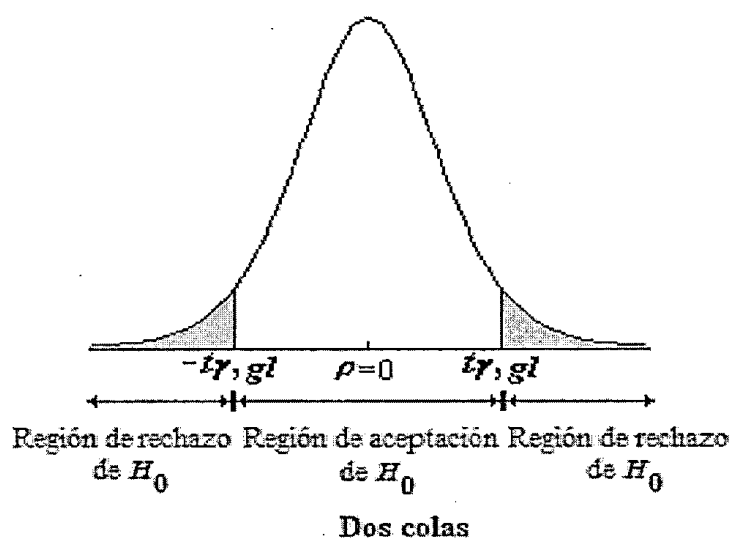
- ✓ Hipótesis nula Ha: p = 0 (no existe correlación)
- ✓ Hipótesis alterna Ha: p ≠ 0 (existe correlación)

Se consideró para el análisis un nivel de significancia de a = 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 MIB SPSS STATISTICS 2017.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS INICIALES DEL SUELO NATURAL.

El suelo natural encontrado en el lugar de estudio es un suelo fino de color amarillo, concretamente arcilla de baja plasticidad (CL), con presencia de limos. De este suelo se han extraído las muestras siguiendo el procedimiento acorde a la normativa para muestras inalteradas y alteradas NTP 339.151 (ASTM D4220) cuidando 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 1.54 g/cm<sup>3</sup>, la humedad natural encontrada fue de 18.44% variando ésta de acuerdo a las estaciones del año del lugar.\*

En la siguiente tabla se muestran las características granulométricas del suelo en estudio.

*Tabla 4. 1* Características granulométricas del suelo en estudio  
Características granulométricas del suelo en estudio

<b>Limite Líquido</b>	:	38.0%
<b>Limite Plástico</b>	:	23.5%
<b>Índice Plástico</b>	:	14.5%
<b>CLASIFICACION DEL SUELO</b>		
<b>AASHTO</b>	:	<b>A-6 ( 8 )</b>
<b>SUCS</b>	:	<b>CL</b>
<b>% de Grava</b>	:	2.50 %
<b>% de Arena</b>	:	30.56 %
<b>% Pasa Nº 200</b>	:	66.93 %

Fuente: Elaboración propia.

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



De la tabla 4.1 se observa que el 2.50% es grava, el 30.56% es arena y el 66.93% de la muestra es limo y arcilla; por tanto es un suelo de grano fino, pero debido a su índice de plasticidad de 14.5%, el suelo se clasifica como CL según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Figura 4. 1 Se muestra la mezcla suelo - aceite residual para determinar su efecto a incrementos sucesivos.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.

Se analizaron las siguientes características físicas que presenta el suelo:

- ✓ Plasticidad,
- ✓ Parámetros de resistencia del suelo ( $\phi$ ) y ( $c$ )

### 4.2.1 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 la siguiente tabla.



Tabla 4. 2 Plasticidad del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2017.  
Plasticidad del suelo a diferentes contenidos de aceite, Puno 2017.

INDICADOR	LL (Limite liquido)	LP (Limite Plástico)	IP (Índice de Plasticidad)
0.0%	37.99	23.51	14.48
2.5%	37.21	23.08	14.00
5.0%	36.60	22.61	13.50
7.5%	36.31	23.01	13.00
10.0%	35.62	22.87	12.50

Fuente: Elaboración propia

Nota: En base a los ensayos de plasticidad.

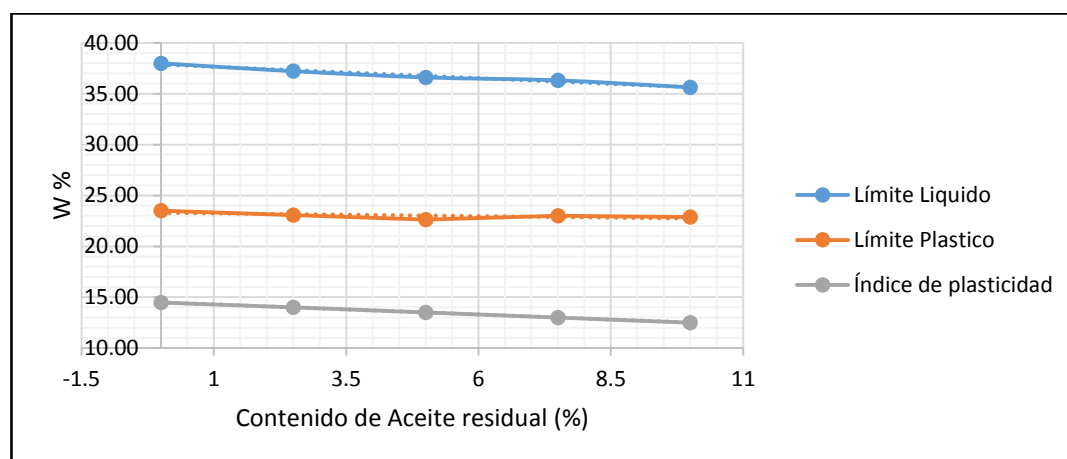
	% Aceite.	L.L.	L.P.	I.P.
% Aceite.	1	-.991**	-0.648	-1,000**
Correlación de Pearson				
Sig. (bilateral)		0.001	0.237	0.000
N	5	5	5	5

Figura 4. 2 Correlación r de Pearson en base a la tabla 4.2, programa IBM SPSS Statistics

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. En este sentido, del Tabla 4.2 se observa una reducción del límite líquido con el incremento del aceite residual. En un suelo sin tratamiento este límite alcanza valores de 37.99% al 0% de aceite y se reduce al 10% de aceite alcanzando un valor de 35.62%, esto es debido a que el aceite actúa como un fluido y hace que se desplace el agua del suelo. El índice  $r = -0.991$  con  $p = 0.001$ , 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 la tabla 4.2. Se muestra una reducción de este límite con el incremento de aceite residual, al 0% de aceite se tiene un LP de 23.51% y al 10% de aceite un valor de 22.87%. 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  $r = -0.648$  con  $p = 0.237$ , indica que hay una correlación inversa alta entre el contenido de aceite y el límite plástico.

El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, por tanto si los límites líquido y plástico disminuyen con el incremento de aceite, el índice de plasticidad también se reduce. En la tabla 4.2 se observa, para el 0% de aceite se tiene un IP de 14.48% y para el 10% de aceite un valor de 12.5%, reduciéndose en 6.23%. El coeficiente  $r = -1.000$  con  $p = 0.000$ , indica que existe una correlación perfecta entre el contenido de aceite y el IP.



*Figura 4. 3* Relación entre el contenido de aceite residual y los límites de plasticidad, Puno 2017

Fuente: Elaboración propia ref. Tabla N°4.2

El aceite residual mezclado con el suelo reduce los límites de consistencia del suelo (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, 2011). En el presente estudio el límite líquido bajo en 6.23% y el límite plástico en 2.72% al 10% de contenido de aceite, lo que concuerda con el suelo fino 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 tenido dificultad en laboratorio ya que los rollitos de suelo se resquebrajan a contenido de humedad por debajo del suelo no contaminado.

Por tanto, se concluye que hay una reducción de los límites de plasticidad.

#### **4.2.2 Cohesión y ángulo de fricción interna.**

Para evaluar los parámetros de resistencia del suelo fino:

- Cohesión entendida como el esfuerzo que permite mantener unidas las partículas de suelo
- 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.

En la siguiente tabla se muestra la variación de estos parámetros con el contenido de aceite, determinado en pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas con muestras remoldeadas a la humedad natural del suelo y contenido de humedad natural.

Tabla 4. 3 Cohesión y ángulo de fricción interna del suelo a diferentes contenidos de aceite  
Cohesión y ángulo de fricción interna del suelo a diferentes contenidos de aceite

Suelo con adición de aceite residual al:	Ángulo de fricción $\phi$ (°)	Cohesión c (kg/cm2)
0.0%	27.89	1.17
2.5%	24.19	0.92
5.0%	17.88	0.79
7.5%	10.79	0.81
10.0%	6.22	0.77

Fuente: Elaboración propia

Notas: En base al ensayo triaxial UU

**Correlaciones**

		% Aceite.	Angulo de fricción interna	Cohesión
% Aceite.	Correlación de Pearson	1	-,998**	-,891*
	Sig. (bilateral)		,000	,042
	N	5	5	5
Angulo de fricción interna	Correlación de Pearson	-,998**	1	,875
	Sig. (bilateral)	,000		,052
	N	5	5	5
Cohesión	Correlación de Pearson	-,891*	,875	1
	Sig. (bilateral)	,042	,052	
	N	5	5	5

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Figura 4. 4 Correlación de Pearson para ángulo de fricción interna vs aceite residual

Fuente: Elaboración propia- programa IBM SPSS STATISTICS

Notas: En base al ensayo triaxial UU

De la tabla 4.3 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 1.17 kg/cm2 y al 10% de aceite la cohesión es de 0.77 kg/cm2, reduciéndose en 0.40 kg/cm2 que en

porcentaje representa 34.19% de reducción. El aceite al entrar en contacto con los granos de suelo disuelve la fuerza de unión existente entre las partículas. El coeficiente  $r = -0.891$  con  $p = 0.042$ , indica que existe una correlación inversa muy alta entre el contenido de aceite y la cohesión del suelo; es significativo al 5%.

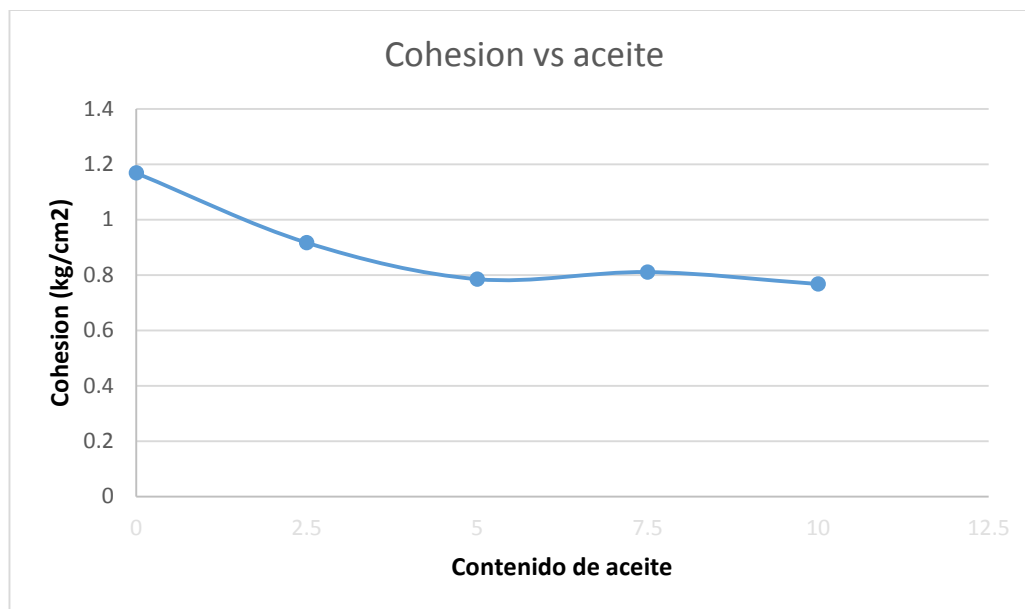


Figura 4. 5 Relación entre el contenido de aceite residual y la cohesión, Puno 2017  
Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 4.3

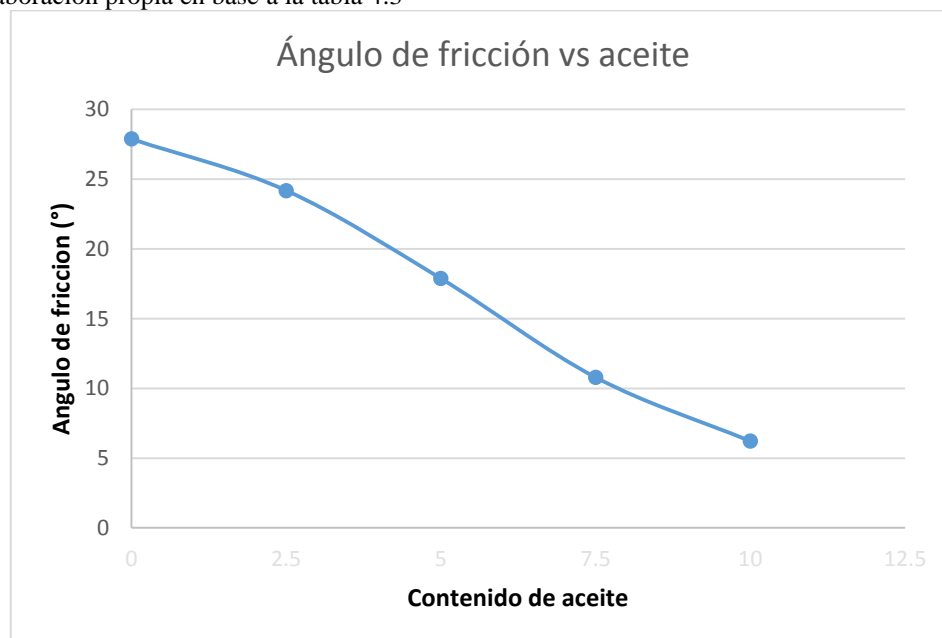


Figura 4. 6 Relación entre el contenido de aceite residual y el ángulo de fricción interna.  
Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 4.3

De la Tabla 4.3, se observa una reducción significativa del ángulo de fricción con un valor de 27.89° al 0% a 6.22° al 10% de aceite. Reduciéndose en un 77.7%, debido a que el suelo se encuentra saturado de aceite residual. El coeficiente  $r = -0.998$  con  $p = 0.00$ , indica que existe correlación de un alto nivel de significancia  $<0.01$ .

“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  $\phi$  en suelos arcillosos CL” (Khomehchiyan, Hossein Charkhabi, & Tajik, 2007 Volumen 89 N°3-4) Este enunciado concuerda con el presente estudio debido a que el valor de  $r = -0.998$  indica que hay una correlación muy alta, teniendo un valor máximo de 27.89° al 0.0% y 6.22° al 10% 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 1.17 kg/cm<sup>2</sup> a 0.77 kg/cm<sup>2</sup> al 10% de aceite (aproximadamente -34%). Otro investigador indica también un decremento en la cohesión (-66%) y ángulo de fricción interna (-23%) para suelo contaminado con (Sanjay J., A.V., Jignesh V., K.C., & D. Ramakrishnan, 2003, Volume 21) 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.

Por lo tanto, el incremento del aceite residual en el suelo reduce los parámetros de resistencia de los suelos finos como son: cohesión, ángulo de fricción.

#### 4.3. COMPARACIÓN CON LA CAPACIDAD PORTANTE.

Para la comparación de la variación de los parámetros de resistencia del suelo con la capacidad de carga del suelo se usará la fórmula sugerida por Meyerhof (1963):

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

Donde:

- c = cohesion
- q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación.
- $\gamma$  = peso específico del suelo.
- B = ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular)

Para la comprobación de la reducción de la capacidad de carga se utilizaron las siguientes

formulas:

**Falla general por corte**

$$q_d = cN_c + \gamma D_f N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Donde:

- c = cohesion
- q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación.
- $\gamma$  = peso específico del suelo.
- B = ancho de la cimentación (= diámetro para una cimentación circular)

$$\left\{ \begin{array}{l} N_c = \cot \phi (N_q - 1) \\ N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ N_\gamma = 2 \tan \phi (N_q + 1) \end{array} \right.$$

*Caquot y Kerisel, 1953*

Tabla 4. 4 Cohesión y ángulo de fricción interna del suelo con la capacidad de carga admisible  
Cohesión y ángulo de fricción interna del suelo con la capacidad de carga admisible }

MUESTRA CON ADICION DE ACEITE	COHESION (c) (kg/cm2)	Variación	ANGULO DE FRICCION $\phi$ (°)	Variación	q Adm (F.S) 3 (kg/cm2)	Variación
0.00%	1.17	100.0%	27.89	100.0%	3.03	100.0%
2.50%	0.92	78.5%	24.19	86.7%	1.94	63.9%
5.00%	0.79	67.2%	17.88	64.1%	1.01	33.2%
7.50%	0.81	69.4%	17.079	38.7%	0.55	18.1%
10.00%	0.77	65.7%	6.22	22.3%	0.37	12.2%

Fuente: Elaboración propia

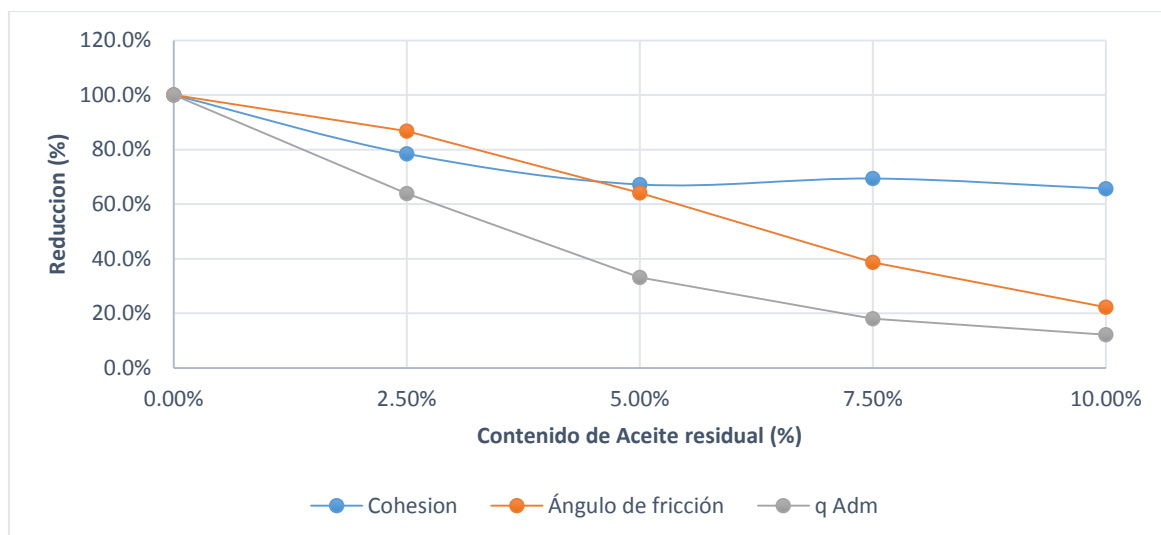


Figura 4. 7 Relación entre la variación de la cohesión, ángulo de fricción y el q Admisible. Fuente: Elaboración propia en base a la tabla 4.4

De la Tabla 4.4, se observa una reducción significativa de la capacidad de carga admisible reduciéndose de 3.03 Kg/cm<sup>2</sup> al 0% a 0.37 Kg/cm<sup>2</sup> al 10% de aceite. Reduciéndose en un 87.80%, debido a que el suelo se encuentra saturado de aceite residual, se observa una relación de caída entre el ángulo de fricción interna y la capacidad de carga admisible.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

El grado de viscosidad del aceite varia de 0W a 25 W, el aceite residual utilizado en la investigación fue el producido luego de usar un aceite SAE 20W-50 para motor a gasolina, que mezclado con el suelo reduce los parámetros de resistencia del suelo fino (CL), existiendo una correlación negativa de las propiedades físicas para el Limite liquido El índice  $r = -0.991$  con  $p = 0.001$ , 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, para el LIMITE PLÁSTICO El coeficiente  $r = -0.648$  con  $p = 0.237$ , indica que hay una correlación inversa alta entre el contenido de aceite y el límite plástico, para el INDICE PLASTICO el coeficiente  $r = -1.000$  con  $p = 0.000$ , indica que existe una correlación perfecta entre el contenido de aceite y el IP, para la COHESION del suelo el coeficiente  $r = -0.891$  con  $p = 0.042$ , indica que existe una correlación inversa muy alta entre el contenido de aceite y la cohesión del suelo; es significativo al 5%, para el ANGULO DE FRICCIÓN del suelo el coeficiente  $r = -0.998$  con  $p = 0.00$ , indica que existe correlación de un alto nivel de significancia  $<0.01$  ,por tanto la investigación, influencia de aceites residuales de vehículos motorizados en los parámetros de resistencia de suelos finos presenta las siguientes conclusiones específicas:

- La cohesión, en el suelo clasificado como CL (una arcilla de baja plasticidad) disminuye de  $1.17 \text{ kg/cm}^2$  a  $0.40 \text{ kg/cm}^2$  con el incremento de aceite desde 0% al 10%

- El ángulo de fricción, en el suelo clasificado como CL (una arcilla de baja plasticidad) disminuye de  $27.89^\circ$  a  $6.22^\circ$  con el incremento de aceite desde 0% al 10% 27.89 6.22
- Los límites de consistencia, el limite liquido reduce de 37.99% a 35.62% y el limite plástico reduce de 23.51% a 22.87%.
- La capacidad de carga admisible disminuye de  $3.03 \text{ kg/cm}^2$  a  $0.37 \text{ kg/cm}^2$  reduciéndose en un 87.80%.

## CAPÍTULO VI

### RECOMENDACIONES

Tener cuidado con la eliminación del aceite residual de vehículos motorizados en las proporciones del 2% al 10% respecto al peso seco del suelo ya que se observó un decremento de su propiedades, afecta de forma negativa a los parámetros de resistencia: cohesión y ángulo de fricción del suelo y por ende también a la capacidad de carga del suelo.

Se recomienda ampliar la investigación con aceites residuales de diferentes grados de viscosidad y analizar la interacción del suelo con la viscosidad del aceite.

Realizar estudios sobre la influencia que presenta el aceite residual en las propiedades químicas y biológicas de los suelos agrícolas, debido a que disminuyes sus propiedades físicas.

Realizar estudios sobre tratamiento de suelos contaminados con aceite residual de vehículos motorizados.

Considerar mayor factor de seguridad en lugares donde se pueda tener derrames accidentales de aceites residuales, ya que en la presente investigación se pudo llegar a la conclusión de que la capacidad de carga admisible de un suelo reduce considerablemente.

## CAPÍTULO VII

### BIBLIOGRAFIA

- Amer, A., Barberán, R., & Mur, J. (2006). la política de gestión de residuos. *Revista de economía aplicada*, 81-100.
- Berry, P. L. (1993). Consistencia de las arcillas y Limites de Atterberg. En P. L. Berry, *Mecánica de Suelos* (pág. 54). Colombia: Editorial McGraw-Hill.
- Bowles, J. (1981). Limites liquido y plastico de un suelo. En J. E. Bowles, *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil* (pág. 16). México: Editorial McGraw-Hill.
- Crespo Villalaz, C. (2005). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. En C. Crespo Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (pág. 75). Mexico: Editorial Limusa.
- Das, B. M. (2001). Limites de atterberg. En B. M. Das, *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (págs. 15-16). Mexico: International Thomson Editores.
- Huaquisto Caceres, S. (2015 Vol. 17 N°2). Efecto del aceite residual de vehiculos motorizados en los factores fisico mecanicos del suelo fino. *Revista de investigacion altoandina* , 207-214.
- Juárez Badillo, E. y. (2005). En E. y. Juárez Badillo, *Mecánica de Suelos, Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos* (pág. 254). México: Editorial Limusa.
- Khamehchiyan , M., Hossein Charkhabi, A., & Tajik, M. (2007 Volumen 89 N°3-4). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 220-229.
- Nazir, A. (2011). Effect of motor oil contamination on geotechnical properties of over consolidated clay. *Alejandro Engineering Journal*, 331-335.
- Neder Muñoz, C., & Marín, J. (ENERO de 2003). *APLICACIONES DEL ANALISIS DE ACEITE USADO EN MOTORES A DIESEL DE USO MARINO*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1574/1/3122.pdf>.

Reyes Ortiz, O. J., & Porras, M. (Setiembre de 2016). *USO DE ACEITE QUEMADO PARA MEJORAR BASES Y SUBBASES*. Obtenido de <http://artemisa.unicauca.edu.co/~sicolpav/PonenciasPDF/AceiteFredy.PDF>.

Sanjay J., S., A.V., S., Jignesh V., P., K.C., T., & D. Ramakrishnan. (2003, Volume 21). Stabilization of fuel oil contaminated soil—A case study. *Geotechnical an Geological Engineering*, 415 - 427.

Shigenaka, G. (2011). Chapter 27 – Effects of Oil in the Environment. *Oil Spill Science and Technology*, 985-1024.

### **WEBGRAFIA**

<http://noria.mx/lublearn/entendiendo-los-grados-de-viscosidad-sae-para-lubricantes-de-motor/>

### **NORMAS Y REPORTES**

NTP 339.151 (ASTM D4220) Practicas Normalizadas para la preservacion y transporte de muestras de suelos (bloques) inalterada, y muestras alteradas en bolsas de plastico.

NTP 339.127 (ASTM D2216) Ensayo de contenido de humedad.

NTP 339.128 (ASTM D422) Ensayo de Analisis granulometrico.

NTP 339.129 (ASTM D4318) Ensayo de Limites de consistencias (Limite Liquido y Limite Plastico).

NTP 339.134 (ASTM D2487) Clasificacion unificada de suelos (SUCS).

NTP 339.164 (ASTM D2850) Ensayo de Compresión Triaxial no Consolidado no Drenado (UU)

## CAPÍTULO VIII

### ANEXOS

1. Estadístico prueba de T Student para la Correlación lineal de Pearson
2. Memoria de cálculo  $q_u$
3. Fotografías de trabajo en laboratorio
4. Resultados de laboratorio
5. Normativa utilizada para la toma de muestras.

