

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**“Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”**

**PRESENTADO POR:**

**Br. ERMITANIO MAMANI OJEDA**  
Bachiller en Ingeniería Civil

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

**ASESOR TÉCNICO:**

**CESAR ALBERTO ARBULU JURADO**  
Ingeniero Civil –Magister

**ASESOR METODOLÓGICO:**

**GORKI FEDERICO ASCUE SALAS**  
Ingeniero Civil – Magister

**CUSCO-PERU**

**2018**

## DEDICATORIA

A Dios, por permitirme a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más, A mi madre Placida por ser la persona que me ha velado por mí durante este arduo camino. A mi padre quien siempre estaba pendiente para culminar mi carrera profesional.

A mis seres más apreciados D. Adriano, Jhade, Rubí y a mis hermanos, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera. Que con su dedicación y palabras de aliento contribuyeron aun cuando todo se complica. Los amo.

A mi tía Matilde, a mama Eulogia, Ángel, Ángela y Lucelia, quienes contribuyen con su incondicional apoyo en esta etapa.

## AGRADECIMIENTO

A MI MADRE, Por darme el ejemplo de una persona incansable y luchadora para alcanzar sus sueños y además con todo su amor y dulzura guio mis pasos para encaminarme ahora en mí propio destino.

HERMANOS, por su apoyo incondicional y ser mis consejeros de vida.

A MIS ASESORES, Mg. Ing. Cesar Arbulu Jurado y Dr. Edwards Jesús Aguirre; por brindarnos su amistad y sus amplios experiencias y conocimientos, con su apoyo técnico y académico para dicho trabajo de investigación.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL, de la Universidad Alas Peruanas filial Cusco. Por brindarme con la formación académica en la etapa profesional.

Agradezco también al Ingeniero Leonel Chaiña Castro y Marcel del Laboratorio de mecánica de suelos ALLPA, por apoyarme y permitir utilizar los equipos, instrumentos de laboratorio.

Br. ERMITANIO MAMANI OJEDA.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE .....	IV
LISTA DE TABLAS .....	VII
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	VIII
LISTA DE ANEXOS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
INTRODUCCIÓN .....	X
<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACION.....</b>	<b>1</b>
1.1.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2.    FORMULACION DEL PROBLEMA.....	2
1.3.    OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION .....	2
1.3.1.    Objetivo General .....	2
1.3.2.    Objetivos Especificos .....	2
1.4.    JUSTIFICACION DE INVESTIGACION.....	3
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>4</b>
<b>MARCO TEORICO.....</b>	<b>4</b>
2.1.    ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1.1.    ESTUDIO N°01 “CURADO NATURAL Y ACELERADO DE UNA ARCILLA ESTABILIZADA CON ACEITE SULFONADA”	
JAVIER CAMACHO TAUTA, OSCAR J. REYES Y CATALINA MAYORGA, UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA BOGOTÁ COLOMBIA	
2008.	5
2.1.2.    ESTUDIO N° 02: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl) PARA BASES Y SUB BASES”	
JAIRON ROLDAN DE PAZ - UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA 2010. ....	5

***TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

2.1.3.	ESTUDIO N° 03: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON TANINO” DI RADO, HÉCTOR R. – FABRE, VIVIANA E. – GUSTIN, ADOLFO V. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE COMUNICACIONES CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICAS 2006.....	6
2.1.4.	ESTUDIO N° 04: “ADITIVO QUÍMICO OBTENIDO DE SALES CUATERNARIAS EMPLEADO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS DE SUBRASANTES DE CARRETERAS” JUAN M. JUNCO DEL PINO – EDUARDO TEJADA PIUSSEAUT - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ISPJAE. CUBA 2011.....	9
2.1.5.	ESTUDIO N° 05: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS POR MEDIO DE ARENAS VOLCÁNICAS Y CAL VIVA” DENIS ROBÍN RUANO LÓPEZ, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA 2012. ....	10
2.1.6.	ESTUDIO N° 06: “MEJORAMIENTO DE SUELOS CON RESINA DE CIPRÉS EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES” LUZGARDO GUARDAPUCLLA VELASQUE, UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS CUSCO 2015. ....	12
2.1.7.	ESTUDIO N° 07: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO PARA SU USO EN LAS VÍAS TERRESTRES” PAUL GARNICA A.- ALFONSO PEREZ S. – JOSE A. GOMEZ L. – EDDA YHAARABY OBIL, SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTE INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE 2002. ....	13
2.1.8.	ESTUDIO N° 08: “ESTUDIO DE COMPORTAMIENTO DE SUELO ESTABILIZADO CON SAL: FRENTE A LA ACCIÓN DEL AGUA, PARA DISTINTAS MEZCLAS” HINRICHSEN TRIVEÑOS, NICOLE NATALIA, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE - FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA 2005. ....	14
2.1.9.	ESTUDIO N° 09: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO PARA USO EN VÍAS TERRESTRES” QUINCHE GRANADA, WILSON ORLANDO, UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA ECUADOR 2006.....	14
2.1.10.	ESTUDIO N° 10: “USO DE CLORURO DE SODIO EN BASES GRANULARES” REYES ORTIZ - CAMACHO T. - TRONCOSO R., OSCAR J. - JAVIER F. - JUAN R. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA BOGOTÁ – COLOMBIA 2006.....	15
2.1.11.	ESTUDIO N° 11: “APLICACIÓN DEL ADITIVO ECO ROAD 2000 EN LA ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS COHESIVOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE LAS VÍAS” WALTER RAYF TOMAS RIVERA, UNIVERSIDAD CONTINENTAL HUANCAYO – PERÚ 2017.	15
2.2.	BASES TEÓRICAS .....	16
2.2.1.	LA MECÁNICA DE SUELOS. ....	16
2.2.2.	RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DE LOS SUELOS Y LAS FASES DEL SUELO. ....	16
2.2.3.	DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA MASA DE SUELOS. ....	19
2.2.4.	RESISTENCIA DEL SUELO AL ESFUERZO CORTANTE.....	20
2.2.5.	ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS. ....	21

**TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”

2.2.6.	DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	21
2.2.7.	DISEÑO DE SUB RASANTE DE PAVIMENTOS.....	23
2.2.8.	CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS. ....	24
2.2.9.	LAS SALES CUATERNARIAS Y SUS PROPIEDADES. ....	26
2.2.10.	PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DE LOS LIGNOSULFONADOS. ....	26
2.2.11.	PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL ACEITE DE SOYA ....	27
2.2.12.	LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.....	28
2.2.13.	LOS ESTUDIOS DE CANTERAS PARA SUB RASANTE DE PAVIMENTO. ....	29
2.3.	<i>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS</i> .....	31
2.4.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	35
2.4.1.	<i>Hipótesis general</i> .....	35
2.4.2.	<i>Hipótesis específicas</i> .....	35
2.5.	VARIABLES.....	35
2.5.1.	<i>Variable independiente</i> .....	35
2.5.2.	<i>Variable dependiente</i> .....	35
2.5.3.	<i>Operacionalización de las Variables</i> .....	36
<b>CAPITULO III .....</b>		<b>37</b>
<b>METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....</b>		<b>37</b>
3.1.1.	<i>Tipo de investigación</i> .....	38
3.1.2.	<i>Nivel de investigación</i> .....	38
3.2.	<i>DESCRIPCION DEL AMBITO DE LA INVESTIGACION</i> .....	38
3.3.	POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION .....	38
3.3.1.	<i>Población</i> .....	38
3.3.2.	<i>Muestra</i> .....	38
3.4.	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS .....	38
3.4.1.	<i>Técnicas</i> .....	38
3.4.2.	<i>Instrumentos</i> .....	38

**TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”

<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>39</b>
<b>ESTUDIO DE MATERIALES</b> .....	<b>39</b>
4.1.    INTRODUCCIÓN .....	40
4.2.    MATERIAL DE CANTERA .....	40
<b>CAPITULO V</b> .....	<b>41</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	<b>41</b>
5.1.    RESULTADOS .....	42
5.2.    PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.....	42
5.3.    ANÁLISIS DE LOS DATOS. ....	43
5.4.    DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....	47
<b>CAPITULO VI</b> .....	<b>49</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>49</b>
6.1.    CONCLUSIONES.....	50
6.2.    RECOMENDACIONES.....	51
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>52</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>56</b>

### LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10%, 25% y 50% de arena sílice.....	12
<b>Tabla 2</b> Requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos. ....	24
<b>Tabla 3</b> Clasificación de aditivos estabilizadores (según su origen).....	25
<b>Tabla 4</b> Composición del lignosulfonato. ....	26
<b>Tabla 5</b> Composición química del aceite de soya.....	27

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

<b>Tabla 6</b> Composición (%) en ácidos grasos de ciertos triglicéridos.....	28
<b>Tabla 7</b> Numero de calicatas para exploración de suelos. ....	29
<b>Tabla 8</b> Categorías de subrasante. ....	31
<b>Tabla 9</b> Resumen de datos de la investigación. ....	42
<b>Tabla 10</b> Resumen de pruebas de normalidad de los datos CBR. ....	43
<b>Tabla 11</b> Principales estadísticos de los datos CBR. ....	44
<b>Tabla 12</b> Matriz de correlaciones Pearson de los datos CBR.....	45
<b>Tabla 13</b> Matriz de coeficientes de determinación Pearson de los datos CBR....	46
<b>Tabla 14</b> Categorías de subrasante. ....	60
<b>Tabla 15</b> Correlación de tipos de suelos ASSHTO - SUCS.....	62
<b>Tabla 16</b> Resumen del suelo (ASSHTO – SUCS) .....	62

### LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Esquema de las fases del suelo. ....	17
<b>Ilustración 2</b> Idealización de las fases del suelo.....	18
<b>Ilustración 3</b> Humedad natural de la muestra. ....	40
<b>Ilustración 4</b> Gráficos de P-P y Q-Q de los datos CBR. ....	43
<b>Ilustración 5</b> Grafico de caja y bigote y de dispersión de los datos CBR.....	44
<b>Ilustración 6</b> Resultados de Limite Liquido de la muestra. ....	58
<b>Ilustración 7</b> Resultados obtenidos de los ensayos LP. ....	59

### LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO A.</b>	ENSAYOS DE LABORATORIO.
<b>ANEXO B.</b>	PANEL FOTOGRAFICO.



## RESUMEN

Como parte de las investigaciones que se realizan en la malla curricular de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Alas Peruanas, como ejemplo se realizó el estudio del potencial estabilizante del Aceite de Soya vegetal, como aditivo para la estabilización de los suelos granulares de sub rasante para pavimento rígidos, se muestran los resultados obtenidos con el producto estabilizante en varios ensayos realizados, con suelo de cantera ubicado en el sector de Pata pata, clasificado dentro de los grupos A-2-4 (0) (según AASTHO); y en los cuales este estudio de estabilización de suelos se realizó probando con la adición de aceite de soya en diferentes porcentajes (1%, 2%, 3% y 4%) a partir de los ensayos de laboratorio (CBR), obteniendo los resultados que los parámetros mecánicos de resistencia a CBR no mejoraron con la adición de aceite de soya, se observó que con la adición de 4% en peso de aceite de soya, disminuye su resistencia CBR en un 50%, es decir más porcentaje de aceite menor es la resistencia en el CBR del suelo tomado como muestra. Habiéndose realizado ensayos de laboratorio adicionales de CBR utilizando muestras de suelo previamente secado al horno 110° C, pulverizada mezclada y compactadas con adición del aceite de soya puro de 7.44 % a una temperatura a 70 °C, se ha evidenciado que el CBR se incrementa de sus propiedades mecánicas de la misma cantera en un promedio de 4.3%.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo de investigación se presenta los siguientes capítulos:

**En el capítulo I:** Se formula el problema objeto de investigación. Se detallan los objetivos las hipótesis y las variables.

**En el capítulo II:** Se detalla el marco teórico el cual lo constituye los antecedentes, las bases teóricas y la definición de términos.

**En el capítulo III:** Comprende la metodología de la investigación, descripción del ámbito de la investigación, población de muestra y técnicas para la recolección de datos.

**En el capítulo IV:** Se realiza el estudio de material de cantera a utilizar en la presente investigación de tesis mediante ensayos de laboratorio. Este capítulo contempla el análisis de resultados y discusión de la investigación realizada.

**En el capítulo V:** Este capítulo contempla el análisis de resultados y discusión de la investigación realizada.

**En el capítulo VI:** comprende de las conclusiones y recomendaciones.

---

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

---

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Impacto ambiental de obras viales urbanas.- La construcción de obras de infraestructuras de obras viales urbanas, ocupa áreas importantes de territorio, por lo que se afecta al medio ambiente de muchas maneras.

Técnicas actuales de estabilización de suelos para sub rasante.- Los métodos de estabilización de suelos para sub rasante más comunes: mecánicos, físicos, químicos, hidráulicos, térmicos. Actualmente se utilizan gran cantidad de aditivos químicos para estabilizar el suelo y mejorar sus propiedades mecánicas, entre ellos tenemos: Polímeros, sales, Aceites y entre otros; Y los costos de los aditivos mencionados suelen ser muy altos y encarecen la construcción de pavimentos.

Producción y consumo de aceite de soya en la región.- El aceite de soya es uno de los más importantes aceites vegetales en nuestra región, es menos caro que el aceite de maíz y girasol; se caracteriza por alto contenido ácido linoleico y su bajo contenido de grasos saturados.

Actualmente en nuestra región no se aprovecha las propiedades estabilizantes del aceite de soya para usarlo como aditivo en pavimentaciones existiendo la oportunidad de reducir grandemente los costos.

## 1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál es el potencial estabilizante del aceite de soya como aditivo para los suelos granulares de sub rasante de pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco?

## 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

### 1.3.1. Objetivo General

Realizar el estudio del potencial estabilizante del aceite de soya como aditivo para los suelos granulares de sub rasante de pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

- ) Determinar el porcentaje de aceite de soya a utilizarse como aditivo estabilizante de suelos granulares.
- ) Evaluar el efecto del aceite de soya en el índice CBR de un suelo granular.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

#### 1.4. JUSTIFICACION DE INVESTIGACION

En el Perú se cuenta con un total de 112,718 kilómetros de carreteras vecinales en lastre que forman parte de la red vial nacional hasta el año 2016 (INEI 2017), se piensa invertir sumas considerables en el mantenimiento de estas rutas.

Este nivel de inversión genera la necesidad de contar con un mayor número de técnicas y opciones para el mantenimiento de estas rutas que las utilizadas actualmente, las cuales se reducen básicamente a la nivelación y el relastrado de la superficie de rodadura, alternativas que aunque son comparativamente baratas requieren de un mantenimiento intensivo que se ve incrementado por el clima característico de nuestra región.

Algunas de las técnicas de estabilización, como por ejemplo el riego superficial para prevenir la contaminación por partículas suspendidas, han sido utilizadas en otros países con gran éxito, logrando aumentar la vida útil de este tipo de rutas, disminuyendo la frecuencia en el mantenimiento que, al analizar a mediano y largo plazo resultan ser soluciones competitivas económicamente, ofreciendo mejores superficies de rodadura y que indiscutiblemente poseen un mejor desempeño ante condiciones de lluvia y humedad extrema como las presentes en el Perú, en donde la época lluviosa abarca más del 50% del año en muchas zonas.

Otra consideración importante es que las soluciones de estabilización de suelos con lignosulfonados, no son exclusivas de carreteras vecinales, también son utilizadas en el mejoramiento de sub-rasantes dentro de una estructura de pavimento para volúmenes medios y altos de tránsito, mejorando por mucho la capacidad estructural de estos materiales, impermeabilizando el resto de capas de la estructura y evitando la migración de finos o contaminación del paquete estructural con la consecuente desmejora en su desempeño.

Como sustento del uso de aceite de soya se mencionan que la borra acidulada de aceite de soya es un subproducto del proceso de refinación cáustica de aceite de soya. Es un supresor de polvo en caminos de grava, que favorece al medio ambiente, ya que es un material biodegradable. Cuando se utiliza en los niveles sugeridos, este material no migra a las aguas subterráneas, ni daña los cultivos agrícolas. Cuando la borra de aceite de soya se aplica a los caminos, penetra bajo la superficie de la carretera y actúa como un escudo protector para el camino. (Minnesota Soybean, 1998).

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

---

## CAPITULO II

# MARCO TEORICO

---

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

## **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Estudios e investigaciones sobre el uso de estabilizantes en la construcción de pavimentos.

### **2.1.1. Estudio N°01 “Curado natural y acelerado de una arcilla estabilizada con aceite sulfonada” Javier Camacho Tauta, Oscar J. Reyes y Catalina Mayorga, Universidad Militar Nueva Granada Bogotá Colombia 2008.**

La efectividad en la estabilización de arcillas expansivas por de aceite sulfonato depende de las condiciones ambientales durante el curado. Se propone analizar especímenes de arcilla someténdolas a diferentes periodos de curado natural y, simultáneamente, mediante curado artificial acelerado. La relación ente el tiempo de curado natural y el tiempo equivalente de curado acelerado depende del tipo de material estudiado, las condiciones ambientales del lugar que se desean simular y los parámetros que se llevaron a cabo ensayos de plasticidad de muestras estabilizadas con aceite sulfonado, sometidas a diferentes periodos de curado tanto en condiciones naturales como en una cámara de envejecimiento acelerado. Se obtuvo un factor de curado acelerado para el material estudiado y se encontraron diferencias entre el proceso de curado natural y curado acelerado.

Los aceites sulfonados son agentes catalizadores que producen intercambio de iones; químicamente son compuestos orgánicos derivados de sulfuros y ácidos combinados. La función más importante de estos aceites es la reducción del agua contenida entre las partículas del suelo, aumentando el número de vacíos que permiten el acomodamiento de las partículas, bien sea por atracción entre ellas o bien por compactación (CamachoTauta - Reyes Ortiz - Mayorga Antolinez).

### **2.1.2. Estudio N° 02: “Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y sub bases” Jairon Roldan de Paz - Universidad de San Carlos de Guatemala 2010.**

En Guatemala se desarrolló el tema de tesis “Estabilización de Suelos Con Cloruro De Sodio (NaCl) Para Bases Y Sub Bases”, en el cual se estudió el comportamiento de dos tipos de suelos, una arena limosa color beige y una arena caliza color gris, frente a la adición de NaCl en diferentes porcentajes, donde se observó que en las características de compactación de los suelos, la densidad seca máxima aumenta y la humedad óptima de compactación disminuye con cada incremento en porcentaje de cloruro de sodio (NaCl) y con respecto a la resistencia a

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

la compresión tiende a disminuir con el incremento de NaCl. Sin embargo, la resistencia muestra un leve aumento en la arena caliza con porcentajes de NaCl inferiores al 2%, por tal motivo, el porcentaje máximo aceptable de NaCl para los materiales arena limosa y arena caliza no debe exceder del 2% respecto al peso del material (Roldán de Paz, 2010)

**2.1.3. Estudio N° 03: “Estabilización de suelos con tanino” Di Rado, Héctor R. – Fabre, Viviana E. – Gustin, Adolfo V. Universidad Nacional del Nordeste Comunicaciones Científica y Tecnológicas 2006.**

Esta experiencia consiste, básicamente, en agregar al suelo natural un compuesto estabilizante cuyo principal componente es tanino; a él se le agrega agua y un aldehído.

Los trabajos se ejecutaron utilizando extracto de quebracho colorado (tanino). Se denomina así comúnmente a la sustancia orgánica de origen vegetal, soluble en agua, que se obtiene por difusión, con agua caliente, del aserrín del quebracho colorado (*Schinopsis balansae*). Forma parte de una numerosa variedad de taninos que se hallan presentes en la corteza, frutos y troncos de muchas plantas.

Es inerte; puede ser almacenado casi indefinidamente en estado de polvo. Es más activo con el formol en soluciones ligeramente alcalinas. No presenta riesgos para la salud por inhalación, contacto con la piel o ingestión. No requiere precauciones especiales pero se recomienda el uso de máscaras anti polvo en el momento de descargar el producto de las bolsas. No es inflamable pero sí combustible en condiciones similares a la madera.

Se eligió el formol como reactivo. Es una solución acuosa de aldehído fórmico o formaldehído que combinado con el tanino produce una resina del tipo fenol formaldehído.

Como estaba previsto realizar una experiencia en Puerto Tirol, se obtuvieron muestras superficiales del futuro lugar de trabajo sobre las que se realizaron ensayos con el propósito de conocer con exactitud las propiedades del suelo en estado natural. Éste presenta las siguientes características:

Primer muestreo (Muestra A)	Segundo muestreo (Muestra B)
Limite liquido: 42.6	Limite liquido: 47.7
Limite plástico: 18.8	Limite plástico: 34.0
Índice plástico: 23.8	Índice plástico: 13.7

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*



Porcentaje pasa tamiz 200: 91 %

Porcentaje pasa 200: 91 %

Clasificación SUCS: CL

Clasificación SUCS: OL

Clasificación HRB: A-7-6 (22)

Clasificación HRB: A-7-5 (16)

Es de destacar el importante contenido de materia orgánica de la Muestra B (15%).

Se prepararon las resinas cuya composición detallada se indica en la tabla 1, donde las columnas expresan la participación de cada componente en función de su peso molecular (mol), de su masa (en Newton) y de su porcentaje interviniente. De acuerdo a este porcentaje, el contenido de tanino para cada resina es variable según la secuencia siguiente:  $R4 > R3 > R2 > R1 > R5 > R6 > R7$ .

Cada resina se incorporó al suelo natural en las siguientes proporciones en peso de suelo seco: 5%, 10%, 15%, 20%, denominándose estabilizado al grupo genérico  $EiRj$  donde  $i$  varía entre 5% y 20% y  $j$  entre 1 y 7. Se definieron así 28 estabilizados. Para cada uno de ellos se prepararon 6 probetas en el molde Harvard aplicando una energía de compactación obtenida de la conformación de 5 capas con 50 aplicaciones de la barra por capa. Se eligió este ensayo por ser el más representativo del trabajo de campo realizado en suelos finos arcillosos. Como interesaba además conocer la influencia de los días de curado en la resistencia, se establecieron grupos para ensayar luego de transcurridos distintos períodos de tiempo a partir de la fecha de moldeo. En total se confeccionaron 250 probetas que fueron ensayadas respetando un riguroso plan de tareas, cuidando la conservación de la humedad de moldeo de cada grupo durante la etapa de curado. Esta humedad corresponde, aproximadamente, con la humedad óptima lograda en el ensayo de compactación Harvard aplicando la misma energía antes citada.

Durante la primera etapa de la investigación se preparó la mezcla de Tanino + Formol + Agua (ésta según necesidad) y se incorporó al suelo de acuerdo a la proporción elegida. Trabajar de esta manera significa atender constantemente la variable tiempo, debido a que la resina comienza a reaccionar ni bien sus componentes entran en contacto. Ello se puso de manifiesto en la primera experiencia de campo. Por tal motivo se cambió el método de trabajo por el siguiente:

- a) Se agregó al suelo la cantidad calculada de Tanino según la  $EiRj$  elegida.
- b) Se mezcló íntimamente el suelo natural + Tanino. En este paso suele ser útil observar la coloración del mezclado hasta lograr una tonalidad pareja.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

c) Se preparó formol en la cantidad necesaria de acuerdo a la EiRj elegida. Si fuera necesario se adiciona agua para alcanzar la humedad adecuada, definida previamente mediante un ensayo de compactación según el método de Harvard.

d) Se volvió a mezclar íntimamente hasta conseguir visualizar una distribución homogénea de la humedad. Con un método rápido de cálculo de contenido de agua de la mezcla como, por ejemplo, el uso del horno microondas, se puede ajustar la misma según necesidad (Norma A.S.T.M. D4643-93).

A continuación se confeccionaron las probetas de ensayo y se guardaron en cámaras cerradas para que cumplan su período de curado sin variar su humedad. Una vez cumplido el período de estacionamiento se ensayaron a la compresión simple. Todas las muestras de suelo natural y tratado fueron clasificadas según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y según la norma A.S.T.M. D 3282-93. Con las dos muestras (A y B) de suelo natural se prepararon series de probetas que fueron sometidas a la compresión simple.

a) Primer tratamiento:

Se realizó usando la muestra A y el formol tipo I preparando, en total 250 probetas. Se trabajó con todos los estabilizados programados y todos los resultados hallados fueron resumidos tomando un promedio de los valores de rotura para cada grupo de 6 probetas ensayadas con un mismo período de curado, a los fines de poder establecer una comparación de resultados en el gráfico mostrado en la fig. 1.

b) Segundo tratamiento:

Se utilizó la misma muestra A de suelo y el formol tipo II, no analítico. Solamente se trabajó con las resinas R5, R6 y R7 incorporadas al suelo en 10% y 15%, preparando grupos de 6 probetas para ser ensayadas a 7, 14, 21, y 28 días de curado. En total fueron confeccionadas 144 probetas.

c) Tercer tratamiento:

Se procedió de la misma forma que en el segundo tratamiento pero utilizando la muestra B de suelo natural y el formol tipo I. Los resultados se muestran en la representación gráfica.

También se hicieron ensayos de identificación y clasificación del material resultante del suelo natural tratado, tanto para la muestra A como para la muestra B, para varios tipos de estabilizados preparados, (Di Rado, - Fabre, - Miño, 2000).

**2.1.4. Estudio N° 04: “Aditivo químico obtenido de sales cuaternarias empleado para la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes de carreteras”**  
**Juan M. Junco del Pino – Eduardo Tejada Piusseaut - Facultad de Ingeniería Civil, ISPJAE. Cuba 2011.**

En Cuba, para aliviar la carencia de materiales locales en algunas regiones del país, se desarrolló una investigación que dio como resultado la creación de un procedimiento de estabilización de suelos utilizando sales cuaternarias. El “Sistema de Estabilización e Impermeabilización de Suelos”, así creado, tiene como ventajas principales su economía y simplicidad en su empleo, además de conseguir el incremento de resistencia y reducción de permeabilidad en los suelos donde se aplique.

El presente trabajo contiene una exploración sobre el estado de la técnica de utilización de aditivos en el mejoramiento de suelos, en la esfera internacional, y sobre el modo en que las sales cuaternarias producen los cambios en los suelos arcillosos, también algunos de los resultados fundamentales del empleo de esta técnica en nuestro país. Se analiza el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos estabilizados con el sistema, comparando las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural y después de mejorados, así como la evolución de las características en el tiempo de los suelos estabilizados.

La estabilización química con el aditivo Rocamix, ha demostrado ser efectiva en los suelos con apreciable contenido de arcilla. La clasificación de estos suelos mediante la carta de plasticidad de Casagrande no ha sido suficiente para explicar los incrementos experimentados, siendo más adecuado considerar la carta de actividad de Polidori, que propone clasificar los suelos finos, añadiendo a los límites de consistencia, la actividad de las arcillas.

Se ha comprobado que se produce un evidente incremento en el índice de CBR, cuando se aplica el aditivo, y es posible poder predecir la variación esperada en la resistencia, ya que se ha encontrado una buena correlación entre el incremento de resistencia a CBR y el Índice de Actividad de la Arcilla. De ahí que se recomiende determinar la actividad de los finos del suelo antes de acometer un trabajo de estabilización química con sales cuaternarias de amonio, por la influencia que tendrá este factor en el resultado final de la capacidad soporte del suelo estabilizado (Junco del Pino, Juan M. - Eduardo Tejada, 2011).

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

### **2.1.5. Estudio N° 05: “Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva” Denis Robín Ruano López, Universidad de San Carlos de Guatemala 2012.**

Se requiere evaluar el comportamiento de las arenas de origen volcánico en la estabilización de suelos cohesivos, estas arenas son muy comunes en diferentes áreas de la construcción y existen en gran cantidad dentro del departamento de Guatemala como en otras áreas del país. Los materiales de origen volcánico son muy fáciles de encontrar en Guatemala, la mayoría de su territorio tiene influencia en sus suelos procedentes por eventos y actividad volcánica.

El aprovechar al máximo los materiales de origen volcánico en las diferentes áreas de la construcción como también en estabilizaciones de suelos cohesivos entre otros.

La utilización de la cal viva es otro recurso que se tiene a la mano y a un bajo costo y se le puede dar un uso de aprovechamiento correcto para conseguir resultados satisfactorios.

Las estabilizaciones de suelos en Guatemala son muy comunes, ya que se necesita ejecutar diferentes proyectos como lo son carreteras, áreas industriales, complejos habitacionales etc., por lo que es importante estudiar nuevas opciones para realizar esta actividad, proponiendo diferentes materiales, métodos y proporciones de mezclas de agregados para lograr estabilizaciones de suelos logrando obtener valores de CBR adecuados según sea su aplicación en el campo de la construcción.

Este estudio usando recursos volcánicos crea un precedente para seguirla investigación de otros tipos de materiales, que también pueden utilizarse como nuevos agregados para estabilizaciones e implementarlos en diferentes proyectos como también aprovechar la cercanía de los bancos de extracción de materiales al lugar de la ejecución.

Se analizó anteriormente todas las estabilizaciones realizadas a los dos tipos de suelos cohesivos las cuales fueron positivas, cada una de las estabilizaciones presentó un CBR diferente.

El número CBR obtenido es un índice del valor o capacidad soporte de un suelo. Un CBR de ocho o diez por ciento indicará que el material tiene una capacidad soporte baja, mientras que un valor de 50 o 70 por ciento de CBR mostrará un material

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

de buena resistencia, apto para capa de base de pavimentos según sea su utilidad, esto de acuerdo a las especificaciones del libro azul de caminos.

En resumen, el CBR significa la relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles.

Con las diferentes mezclas realizadas con arenas de origen volcánico y cal viva a las 2 muestras diferentes de arcillas, se determinó que se puede lograr varios valores de estabilización según la mezcla aplicada.

Las mezclas sugeridas en la investigación para las estabilizaciones de suelos son amplias y van desde un 10, 25 y un 50 por ciento de agregados del volumen a estabilizar, estas lograron diferentes valores en cada una de las muestras trabajadas.

Los valores son variados y se puede obtener un CBR, según la mezcla aplicada de un 52,6 por ciento de CBR hasta un 91,5 por ciento de CBR estos valores obtenidos en el gráfico de CBR al 95 por ciento de compactación y según la aplicación que se le desea dar se puede tomar el valor más conveniente a utilizar.

Cuando el porcentaje de arenas va creciendo sobre las muestras de arcillas a estabilizar se alcanza un grado de estabilización más alta, esto se puede apreciar en los ensayos realizados los cuales mostraron que las muestras de arcilla aplicando las mezclas van tomando un valor de CBR mayor.

Las características de las arenas de origen volcánico utilizadas para en la investigación lograron conjuntamente con la cal viva diferentes valores de estabilización sobre las muestras de suelos cohesivos empleados lo que hace positivo los resultados del estudio realizado.

Con los valores obtenidos de las de los ensayos realizados podemos graficar los valores los cuales nos muestra la tendencia sobre el incremento del porcentaje del valor CBR, en el suelo que se está estabilizando, donde podemos observar el incremento del mismo con forme vamos aumentando el porcentaje de volumen de arenas sobre el suelo cohesivo.

La muestra de arcilla 2 se estabilizo con la arena sílice, y arena azul por lo que de acá podemos obtener dos formas de estabilizar el mismo suelo. Y comparar valores obtenidos para determinar que arena de origen volcánica logra un mayor valor en la estabilización.

La muestra de arcilla 1 que presenta características más cohesivas que la muestra 2 también se estabilizó de igual forma con las dos arenas logrando resultados positivos.

El valor de CBR de la muestra de arcilla 1 a un 95 por ciento de compactación fue de: 9,5 por ciento, a continuación podemos comparar los valores estabilizados finales.

**Tabla 1** Valores obtenidos estabilizando la arcilla 1 con un 10%, 25% y 50% de arena sílice

ARCILLA # 1	ARENA SILICE	C	EXNSIONPA	CBR
(%) Vol.	(%) Vol.	(%)	(%)	(%)
90.0	10.0	95.0	0.24	54.5
75.0	25.0	95.0	0.24	74.2
50.0	50.0	95.0	0.00	89.0

Fuente: (Ruano L., 2012)

#### **2.1.6. Estudio N° 06: “Mejoramiento de suelos con resina de ciprés en estructuras de pavimentos flexibles” Luzgardo Guardapuella Velasque, Universidad Alas Peruanas Cusco 2015.**

La validación de la presente hipótesis ha quedado comprobado y demostrado a través de estadística (Modelo Estadístico utilizado), generando la Conclusión General, como resultado de la contrastación de la hipótesis general mediante el siguiente enunciado:

Esta investigación ha probado que la adición de resina de ciprés en el suelo incrementa sus propiedades físico-mecánicas, como en la resistencia a la compresión, adicionando 1,11% de resina a el suelo de la cantera de Pícol en San Sebastián mejora en un 88%, y Manco Cápac en 64%, y en el ensayo CBR el aumento es en un 49% en la Cantera Pícol.

El método que se usó en la investigación es experimental, porque manipula una variable y busca medir el efecto de la variable independiente (resina de ciprés en 0.56%, 1.1%, 2.2%, 3.3%, 4.4%) sobre la variable dependiente (mejora las propiedades físico mecánicas de los suelos).

En el plan de diseño de la investigación se escogieron dos lugares en la ciudad del Cusco, el primero en la APV Manco Cápac en Santiago y el otro en la

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

cantera Picol en San Sebastián, de donde se tomaron muestras inalteradas para realizar ensayos de límites de consistencia, granulometría, compresión simple, coeficiente de permeabilidad y capilaridad para luego compararlo con los suelos de dichas canteras, pero adicionando a cada uno resina de ciprés en porcentaje de 1.1%, 2.2%, 3.2% y 4.4% y así poder comparar el suelo estándar con el suelo estabilizado con resina de ciprés, por lo tanto comprobar la hipótesis planteada.

Es el proceso a través del cual ordenamos, clasificamos y presentamos los resultados de la investigación en cuadros estadísticos y gráficas elaboradas y sistematizadas basándose en técnicas estadísticas con el propósito de hacerlos comprensibles.

Para realizar el análisis de los datos se utilizó el método de comparación, contrastando los resultados de los ensayos realizados con muestras de suelo con resina y sin resina para de esta manera probar el planteamiento hipotético (Guardapuella Velazque, 2015).

#### **2.1.7. Estudio N° 07: “Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres” Paul Garnica A.- Alfonso Perez S. – Jose A. Gomez L. – Edda Yhaaraby Obil, Secretaria de Comunicaciones y Transporte Instituto Mexicano del Transporte 2002.**

En México se desarrolló el tema de tesis “estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres”, el cual se estudió el comportamiento de dos tipos de suelo arcilloso potencialmente expansivo (CH), con la adición de NaCl, donde se observó que en las características de compactación de los suelos, el peso volumétrico seco aumenta y disminuye el contenido de agua óptimo, con el incremento de la sal ; además a partir de sus resultados se concluyó que la estabilización de este tipo de suelos con la adición de cloruro de sodio, produce diferentes resultados en los suelos así tratados, llegando incluso a producir propiedades más desfavorables en suelos utilizados en la construcción de vías terrestres. Por lo anterior, es importante realizar análisis previos de la influencia del producto estabilizante, sobre las propiedades de interés del suelo que se quiera mejorar (Secretaria de Comunicaciones y Transporte, 2002).

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

**2.1.8. Estudio N° 08: “Estudio de comportamiento de suelo estabilizado con sal: frente a la acción del agua, para distintas mezclas” Hinrichsen Triveños, Nicole Natalia, Universidad Austral de Chile - Facultad de Ciencias de la Ingeniería 2005.**

En Chile se desarrolló el tema de tesis “Estudio de comportamiento de suelo estabilizado con sal: frente a la acción del agua, para distintas mezclas”, en el cual se estudió el comportamiento de un tipo de suelo GP-GM (Grava pobremente gradada con limos de baja compresibilidad) con la adición de NaCl en diferentes formas (salmuera, granel y mitad granel y mitad salmuera), obteniendo resultados positivos sobre la relación humedad – densidad de los suelos. Estos efectos se ven representados bajo dos cambios: una disminución de la humedad óptima y un aumento de la densidad compactada. Ambas de gran utilidad en estabilización. Apreciándose que la DMCS aumenta más con la adición de sal en forma a granel que las restantes dos formas de adicionar la sal, la DMCS del suelo patrón es 2,160 kg/m<sup>3</sup> aumentando a 2,270 kg/m<sup>3</sup> en forma granel; pero los ensayos de resistencia al corte de los suelos, medida a través de la resistencia a la compresión no confinada, permiten dar un juicio definitivo respecto de la influencia del cloruro de sodio. Aumentando su resistencia de 1,32 kg/cm<sup>2</sup> del suelo patrón, sin adición de sal, a un 1,48 kg/cm<sup>2</sup> con adición de sal a la muestra en forma de salmuera (Hinrichsen Triveños, 2005).

**2.1.9. Estudio N° 09: “Estabilización de suelos con cloruro de sodio para uso en vías terrestres” Quinche Granada, Wilson Orlando, Universidad Técnica Particular de Loja Ecuador 2006.**

En Ecuador se desarrolló una investigación titulada “estabilización de suelos para uso en vías terrestres”, en el cual se estudió el comportamiento de cuatro tipos de suelos (arcilla de color gris, arcilla de color amarillo, limos inorgánicos de color gris, Arcillas limosas de color café claro) con la adición de cloruro de sodio en diferentes porcentajes, donde se concluyó que las características de compactación para cada uno de los suelos es similar, debido a que existe un incremento en la densidad seca máxima y una disminución en el contenido óptimo de humedad (Quinche Granada, 2006).

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*



**2.1.10. Estudio N° 10: “Uso de cloruro de sodio en bases granulares”  
Reyes Ortiz - Camacho T. - Troncoso R., Oscar J. - Javier F. - Juan R.  
Universidad Militar Nueva Granada Bogotá – Colombia 2006.**

En Colombia se desarrolló una investigación titulada “uso de cloruro de sodio en bases granulares”, en el cual se estudió el comportamiento de una base granular con la adición de sal en salmuera en diferentes porcentajes; en dicha investigación se concluyó que con respecto al ensayo de resistencia a la compresión simple, se obtiene solo con incrementos de resistencia para el nivel de energía de 55 golpes en el rango comprendido entre 2 y 8 %. Para el nivel de energía baja (12 golpes) no se presenta incremento de su resistencia para ninguno de los porcentajes adicionados (Reyes Ortiz - Camacho T. - Troncoso R., 2006).

**2.1.11. Estudio N° 11: “Aplicación del Aditivo ECO ROAD 2000 en la estabilización de los suelos cohesivos en la pavimentación de las vías” Walter Rayf Tomas Rivera, Universidad Continental Huancayo – Perú 2017.**

Objetivos: la presente tesis tiene como objetivo demostrar, mediante diversos estudios, si lo mencionado en la especificación técnica del producto elegido cumple con la dosificación de 1 litro por 15 m<sup>3</sup>; conocer en qué porcentaje aumenta la resistencia del suelo (CBR), ya sea en condiciones óptimas o críticas; y, por último, realizar una evaluación presupuestal.

Método: para realizar los diversos estudios acudimos a las Normas Técnicas Peruanas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y de la American Society for Testing Materials (ASTM), dispusimos de un laboratorio que contaba con los equipos necesarios para realizar los ensayos de suelos y utilizamos un determinado software para elaboración del presupuesto (S10 2005). Resultados: se obtuvieron siete calicatas con más del 40% de CBR, cumpliendo estas los estándares para erigirse como material de subbase; así también, tres calicatas con CBR de 38.55%, 36.10% y 21.70%, siendo las dos primeras de una subrasante extraordinaria (CBR >30%) y la tercera de una muy buena (CBR entre 20% y 30%). Conclusiones: se concluye que la aplicación del aditivo conlleva menores costos que su omisión, reduciendo el gasto en S/ 14.42 respecto al pavimento flexible y en S/ 92.02 respecto al rígido. Es, por lo tanto, rentable el uso del aditivo Eco Road 2000.

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

Para la aplicación de losas de cimentación; hacer el análisis y diseño estructural de la cimentación se tiene que tener muy en claro los conceptos y bases teóricas para el mejor entendimiento de la investigación.

### **2.2.1. La mecánica de suelos.**

Es común creencia la de que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización. Pero en realidad se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían "vectorialmente". En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal. El suelo tiene perfil, y este es un hecho del que se hace abundante aplicación. "Suelo" es un término del que hacen uso diferentes profesantes. La interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses. Para el Agrónomo, por ejemplo, la palabra se aplica a la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal, siendo esta interpretación demasiado restringida para el Ingeniero. Para el Geólogo es todo material intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie; esta definición peca de parcial en Ingeniería, al no tomar en cuenta los materiales transportados no intemperizados posteriormente a su transporte.

Para los fines de esta obra, la palabra Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados, que no se ablanden o desintegren rápidamente por acción de la intemperie. El agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo (Juarez Badillo - Rico Rodriguez, 2005).

### **2.2.2. Relaciones Gravimétricas y volumétricas de los suelos y las fases del suelo.**

El suelo Constituye el elemento estructural de soporte de cualquier tipo de cargas de una edificación, por lo tanto es importante el estudio del comportamiento del suelo ante dichas circunstancias. Para el estudio de la mecánica de suelos se le considera

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

al suelo como un conjunto de partículas que están en estado sólido y que poseen vacíos en su estructura, que pueden poseer líquido.

Son éstas (partículas sólidas y líquidas) las que distribuyen y soportan las cargas y presiones; y además le dan las propiedades a los suelos dependiendo en la proporción en que se encuentre. Para encontrar las propiedades de los suelos es necesario hacer ensayos de laboratorio.

**a).- Fases que posee un suelo.**

Para facilitar el estudio de las relaciones de masa y volumen, se suele representar al suelo en tres fases (sólida líquida y gaseosa), las cuales poseen peso y volumen definido. Es decir que si no hay incremento de presión en su superficie el volumen de estas fases se mantiene constantes.

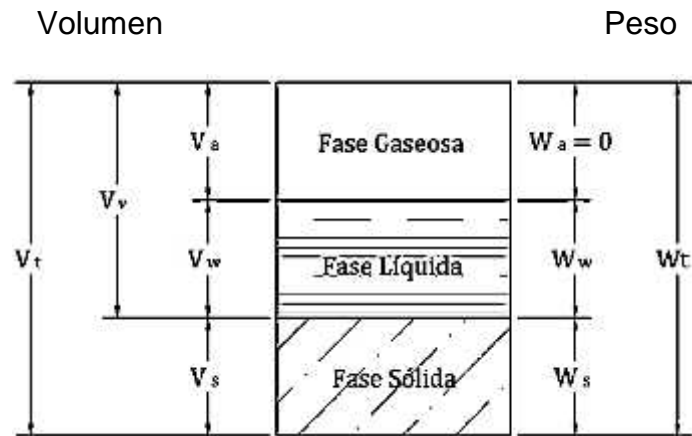
A continuación se nombran las fases del suelo.

**Fase sólida**, formada por las partículas sólidas del suelo, tienen una notable influencia en sus propiedades físicas y químicas. Pueden provenir de la desintegración física de las rocas, es decir que mantienen las propiedades de la roca madre o de la posterior alteración química, es decir que no mantiene las propiedades iniciales (ejemplo: la arcilla).

**Fase líquida**, formada mayormente por el agua, que llena parcial o totalmente los vacíos del suelo, se suele tomar para facilitar el estudio, las propiedades conocidas del agua, tomando en cuenta que ésta, pueda contener sulfatos, sales y otros compuestos.

**Fase gaseosa**, es el aire que llena parcial o totalmente los vacíos que deja la fase líquida, se desprecia su peso para el cálculo de las propiedades ( Andrade Pacheco, 2017).

**Ilustración 1** Esquema de las fases del suelo.



Fuente: ( Andrade Pacheco, 2017)

Dónde:

V<sub>a</sub>: Volumen de las fases del suelo.

W<sub>a</sub>: Peso de la fase gaseosa o aire

V<sub>w</sub>: Volumen de la fase líquida o aire

W<sub>w</sub>: Peso de la fase líquida o agua

V<sub>s</sub>: Volumen de la fase sólida o agua.

W<sub>s</sub>: Peso de la fase sólida o sólido

V<sub>v</sub>: Volumen de los vacíos.

W<sub>t</sub>: Peso total o de la muestra

V<sub>t</sub>: Volumen total o de la muestra.

### **Prelaciones volumétricas y gravimétricas:**

Permiten definir cuantitativamente las propiedades de un suelo, sus condiciones y su comportamiento físico y mecánico

### **Relaciones fundamentales:**

#### **Volumétricas:**

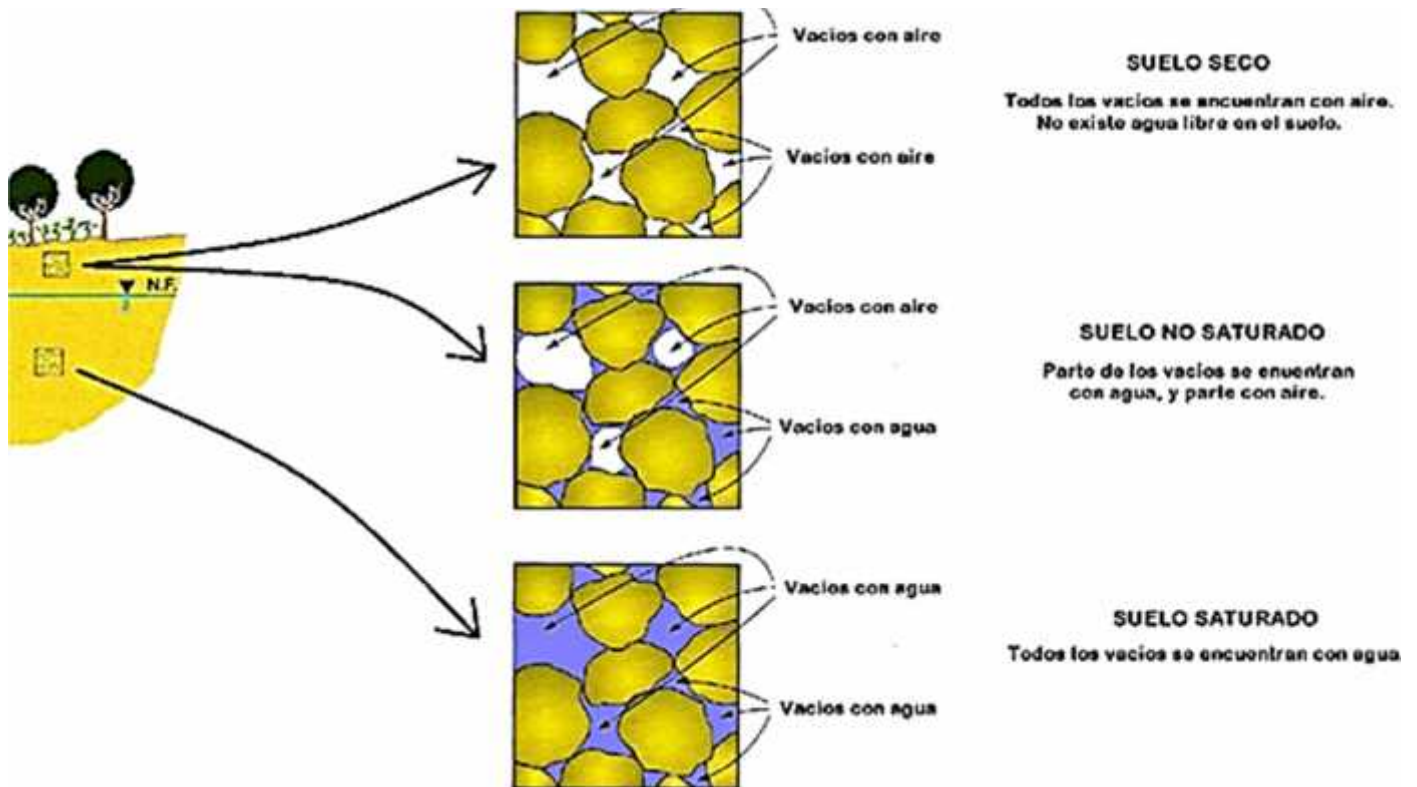
- Relación de vacíos
- Porosidad
- Grado de saturación
- Densidad relativa

#### **Gravimétricas:**

- Humedad
- Peso específico relativo de los sólidos o G. E.
- Peso específico seco
- Peso específico húmedo
- Peso específico saturado
- Peso específico sumergido

### **Ilustración 2** Idealización de las fases del suelo

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*



Fuente: Walter Geovanny Castro - slideshare.net

### 2.2.3. Distribución de Esfuerzos en la Masa de Suelos.

Las cargas que se aplican en la superficie de los depósitos de suelo generan dos tipos de esfuerzos sobre el mismo, a saber:

- ) Esfuerzos Superficiales (Presiones de Contacto)
- ) Esfuerzos Sub-Superficiales

**Esfuerzos Superficiales (Presiones de Contacto):** se generan en la superficie de contacto suelo-cimentación, es la reacción que ofrece el suelo sobre la estructura de cimentación. Estas presiones nos permiten conocer todos los elementos mecánicos mediante los cuales es posible diseñar estructuralmente a la cimentación.

**Esfuerzos Sub-Superficiales:** son inducidos por las cargas superficiales en el interior del suelo, su conocimiento resulta básico en el cálculo de desplazamientos.

#### Método de Boussineq

Considera un estado de deformación tridimensional y cuya solución se basa en las siguientes hipótesis generales según:

- ) El suelo es un material Homogéneo
- ) El suelo es un material Isótropo

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

- ) El suelo es un material Elástico-lineal
- ) El suelo es un material Semi-infinito
- ) El suelo es un material Continuo
- ) Principios

### **Método de Boussineq - Solución**

Considera los siguientes casos:

**Caso I:** Carga Puntual - La distribución de esfuerzos se determinara mediante las isobaras que son curvas que unen puntos de igual esfuerzo (bulbos de presión)

**Caso II:** Carga Lineal - Fadum realizo la integración de la solución de Boussinesq para el caso de la carga puntual, extendiéndola para el caso de la carga lineal, considerando lo siguiente:

La carga lineal siempre estará sobre el eje y alojada a una distancia  $X \geq 0$

La carga lineal deberá empezar tocando el eje X

El punto de cálculo debe de estar sobre el eje Z.

Considera los siguientes casos:

**Caso III:** Carga Uniformemente Distribuida - En este caso, la solución planteada por Fadum, la realiza haciendo la consideración de que el punto donde se desea obtener el esfuerzo debe de estar en la esquina del área cargada

**Caso IV:** Carga Circular Uniformemente Distribuida (Juarez Badillo - Rodriguez, 1984)

### **Carta de Newmark**

Nathan M. Newmark (1942) en la Universidad de Illonois, se ideó un sistema de solución grafica para encontrar de manera aproximada el incremento de esfuerzo vertical debajo de cualquier punto de una fundación, con cualquier tipo y forma de carga, basado en la solución para un punto bajo el centro de una fundación con carga uniformemente repartido de forma circular. A esta solución grafica se le llama con carta de Newmark, y es basada en gráficos o esquemas (Newmark Mortimore, 1942).

### **2.2.4. Resistencia del Suelo al Esfuerzo Cortante.**

Esta resistencia del suelo determina factores como la estabilidad de un talud, la capacidad de carga admisible para una cimentación y el empuje de un suelo contra un muro de contención.

Coulomb 1776 observo que si el empuje de un suelo contra un muro produce un desplazamiento en el muro, en el suelo retenido se forma un plano recto de

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

deslizamiento. El postulo que la máxima resistencia al corte,  $f$ , en el plano de falla, está dada por:

$$f = c + \sigma \tan \phi \quad (12.1)$$

Dónde:  $\sigma$  = Es el esfuerzo normal total en el plano de falla.

$\phi$  = Es el ángulo de fricción del suelo (por ejemplo, arena).

$c$  = Es el cohesión del suelo (por ejemplo, arcilla).

Esta es una relación empírica y se basa en la ley de fricción de Amonton para el desplazamiento de superficies planas, con la inclusión de un término de cohesión  $c$  para incluir la fricción propia del suelo arcilloso. En los materiales granulares,  $c = 0$  y por lo tanto:

$$f = \sigma \tan \phi \quad \text{Suelo granular}$$

Contrariamente, en suelos puramente cohesivos,  $\phi = 0$ .

$$f = c \quad \text{suelo cohesivo puro}$$

Pero la ecuación (12.1) no condujo siempre a resultados satisfactorios, hasta que TERZAGUI publicó su expresión  $f = c + U \sigma$  con el principio de los esfuerzos efectivos (el agua no tiene cortante) (DAS, 2001).

$$f = c + \sigma' \tan \phi$$

### 2.2.5. Estabilización química de suelos.

Los estabilizadores químicos consideran una amplia variedad de tipos, entre los cuales se encuentran sales, productos enzimáticos, polímeros y subproductos del petróleo.

Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado (MTC E 1109 Norma Técnica de estabilizadores químicos, 2004).

### 2.2.6. Diseño de pavimentos.

Se podrá utilizar cualquier método de diseño estructural sustentado en teorías y experiencias a largo plazo, tales como las metodologías del Asphalt Institute, de la AASHTO, de la PCA, del ACI o de la ACPA, comúnmente empleadas en el Perú. El uso de cualquier otra metodología de diseño, obliga a incluirla como anexo a la Memoria Descriptiva.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

Todo cálculo, aseveración, estimación, o dato que forma parte del EMSP y/o del DEP, deberá estar justificado en lo conceptual y en lo analítico. Solo se aceptarán estimaciones o apreciaciones del PR, con el debido sustento, justificación y respaldo (Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, del RNE).

**Capa de Rodadura:** Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

**Base:** Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante (CBR 80%) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

**Subbase:** Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Esta capa puede ser de material granular (CBR 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento.

Los tipos de pavimento incluidos en el Manual son los siguientes:

- ) Pavimentos Flexibles.
- ) Pavimentos Semirrígidos.
- ) Pavimentos Rígidos.

El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante esta capa puede ser de base granular,

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*



o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- ) Pavimento de concreto simple con juntas.
- ) Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas.
- ) Pavimento de concreto con refuerzo continuo.

El dimensionamiento de las estructuras de pavimento que son propuestas en el Manual, y presentadas en los catálogos son ilustrativas y promueven el estudio de alternativas en cada caso, facilita su uso, pero no sustituye la decisión del Ingeniero Responsable, sobre la estructura de pavimento adoptado, la misma que debe estar plenamente justificada por el mencionado Ingeniero (MTC, 2013).

#### **2.2.7. Diseño de sub rasante de pavimentos.**

Se podrá utilizar cualquier método de diseño estructural sustentado en teorías y experiencias a largo plazo, tales como las metodologías del Instituto del Asfalto, de la AASHTO-93 y de la PCA, comúnmente empleadas en el Perú, siempre que se utilice la última versión vigente en su país de origen y que al criterio del PR, sea aplicable a la realidad nacional. El uso de cualquier otra metodología de diseño obliga a incluirla como anexo a la Memoria Descriptiva.

**Diseño Estructural:** En cualquier caso se efectuará el diseño estructural considerando los siguientes factores:

- a) Calidad y valor portante del suelo de fundación y de la sub-rasante.
- b) Características y volumen del tránsito durante el período de diseño.
- c) Vida útil del pavimento.
- d) Condiciones climáticas y de drenaje.
- e) Características geométricas de la vía.
- f) Tipo de pavimento a usarse.

**Especificaciones Técnicas Constructivas:** El PR deberá elaborar las especificaciones técnicas que tomen en cuenta las condiciones particulares de su proyecto. En los Anexos C, E y G se acompañan los lineamientos generales para las especificaciones constructivas de pavimentos asfálticos, de concreto de cemento

Portland y con adoquines, respectivamente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento - SENCICO, 2010).

**Tabla 2** Requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos.

Elemento \ Tipo de Pavimento	Flexible	Rígido	Adoquines
Sub-rasante	95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
	Espesor compactado: 250 mm – Vías locales y colectoras 300 mm – Vías arteriales y expresas		

Fuente: (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento - SENCICO, 2010)

Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR, se empleará la siguiente Ecuación que correlaciona el Mr. – CBR, obtenida del Appendix CC-1 “Correlation of CBR values with soil index properties” preparado el 2001 por NCHRP Project 1-37A (National Cooperative Highway Research Program), documento que forma parte de MEPDG Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide – AASHTO interim 2008) (MTC, 2013)

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times CBR^{0.64}$$

### 2.2.8. Clasificación de los aditivos para estabilización de suelos.

Los aditivos estabilizadores podríamos agruparlos de la siguiente forma:

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

**Tabla 3** Clasificación de aditivos estabilizadores (según su origen).

Absorbentes de agua	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Cloruro de magnesio
Derivados del petróleo	Emulsiones Asfálticas Líquidos asfálticos Emulsiones de asfalto modificado
No derivados del petróleo	Grasa de animales Lignosulfatos Melaza-azúcar de betarraga Emulsiones de aceite de tallos Aceite vegetales
Electroquímicos	Enzimas Productos iónicos Aceite sulfonados
Polímeros sintéticos	Acetato polivinílico Vinil acrílico
Aditivos de arcilla	Bentonita Montmorillonita

Fuente: (Choque Z., 2012)

En fechas más recientes e impulsados por el Desarrollo Tecnológico de la Industria química han ido surgiendo diferentes aditivos con el objetivo de obtener mejoras en las propiedades ingenieriles de los suelos a partir de diversas reacciones químicas, ejemplo de ellos son:

- ) CBR plus.
- ) Road Packer Plus.
- ) Base – Seal,
- ) Minedur.
- ) Consolid.
- ) Permazyme.
- ) ISS 2000.

**TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”

- ) Claycrete.
- ) Dust Seal PE y otros.

### 2.2.9. Las sales cuaternarias y sus propiedades.

Sustancias inorgánicas formadas, como su nombre lo indica por cuatro elementos diferentes. Por lo general son derivadas de sales oxigenadas, parcialmente hidrogenadas.

Son aquellos compuestos que además del catión y del anión, llevan iones óxidos o iones hidroxilo. Se nombran de manera similar a otros tipos de sales, cuidando de intercalar la palabra óxido, según corresponda, precedida del prefijo numérico cuando sea necesario. Si partes del ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y sólo sustituyes uno de los hidrógenos por un catión metálico, obtienes una sal cuaternaria: KHSO<sub>4</sub> o NaHSO<sub>4</sub>. Lo mismo puedes plantear si partes de cualquier ácido oxigenado que tenga varios hidrógenos (polipróticos) como el H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (de aquí salen dos sales distintas) el H<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> ((EcuRed), 2017).

### 2.2.10. Propiedades físico químicas de los lignosulfonados.

El lignosulfonato aporta lubricación interna a la masa permitiendo una menor necesidad de agua y mejorando su manejabilidad, mientras se reduce la fricción en la extrusión. Esto da como resultado una mayor fluidez, menor consumo energético y mejora en las operaciones tanto de extrusión como de prensado.

Se utilizan en la fabricación de ladrillo cara vista, ladrillos de ingeniería, refractarios, baldosas, tejas, ladrillo prensado y terracota. Estas mejorías se consiguen con niveles bajos de dosificación, que oscilan entre 0,1 y 0,5% en peso. Para esta aplicación se utilizan lignosulfonatos de calcio-magnesio para arcillas y sodio para baldosas y porcelánicos. Su dosificación se realiza típicamente en el tornillo sinfín que alimenta de arcilla a la extrusora (Pedraja Santiago, 2016).

**Tabla 4** Composición del lignosulfonato.

ID	Descripción	Contenido seco (%)	ph (sol.10%)	Ca(%)	Mg(%)	Na(%)	Ázúcares (%)
ID130305	Lignosulfonato cálcico con alto contenido en azúcares	Min. 93	3.0±0.8	2.5	0.9	-	16.0

Fuente: LignoTech Ibérica S.A

### Propiedades físico-químicas

- ) Estado físico: Polvo fluido.
- ) Color: Castaño amarillento.
- ) Olor: Típico, recuerda al café.
- ) Ph (10% vol.): 3,0.
- ) Viscosidad: 150 mPa·seg (sol. 55%).
- ) Contenido seco (min.): 93.
- ) Humedad (max.): 7,0.
- ) Riesgo de explosión en polvo: Clase ST 1.
- ) Densidad aparente: 450kg/m<sup>3</sup>.
- ) Solubilidad en agua: 700g/l.
- ) Solubilidad en disolventes orgánicos: Insoluble en no polares.

### Producto estabilizante

- ) La identificación de producto: ACEITE VEGETAL.
- ) Nombre del Fabricante y Distribuidor: ALICORP SAA.
- ) Nombre del producto: ACEITE DE SOYA.
- ) Presentación: 900 ml.
- ) Precio: S/. 4.50

#### 2.2.11. Propiedades físico químicas del aceite de soya

Producto que se obtiene al procesar el aceite desgomado de soya de soya pasado por las etapas de refinado, blanqueado y deodorizado (APECSACV.S.A, 2010).

**Tabla 5** Composición química del aceite de soya.

Parámetros	Mínimo	Máximo
Ácido Mirístico C14:0	0	0.2
Ácido Palmítico C16:0	9.7	13.3
Ácido Palmitoleico C16:1	0	0.2
Ácido Estearico C18:0	3.0	5.4
Ácido Oleico C18:2	17.7	28.5
Ácido Linoleico C18:2	49.8	57.1
Ácido Linolenico C18:3	5.5	9.5
Ácido Lignocérico C24:0	0	0.4

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

Fuente: (APECSACV.S.A, 2010)

Los ácidos C18:1, principalmente el 9-octadecenoico u **oleico**, se encuentra en gran cantidad en la mayor parte de los aceites vegetales y grasas animales. También se consigue una fuerte proporción de los ácidos C18:2 (**linoleicos**) y C18:3 (**linoleicos**) en ciertos aceites vegetales como los de lino, soya, maíz y maní. La tabla 2.1 indica los porcentajes de las diferentes variedades de ácidos en los aceites y grasas naturales (Salager, 2002).

**Tabla 6** Composición (%) en ácidos grasos de ciertos triglicéridos.

ACEITE/GRA		COCO	ALMENDRA	MANI	SOYA	OLIVA	MAIZ	PALMA	MANTECA	SEBO (RES)	MANTEQUILLA
ACIDO	SIMBOLO										
Caprílico	C08:0	07	04	-	-	-	-	-	-	-	01
Capríco	C10:0	08	04	-	-	-	-	-	-	-	03
Laúrico	C12:0	48	50	-	-	-	-	-	-	-	04
Mirístico	C14:0	17	16	-	-	-	-	01	01	02	12
Palmitico	C16:0	09	08	11	11	14	12	46	26	35	29
Estearico	C18:0	02	02	03	04	03	02	04	11	16	11
Oleico	C18:1	06	12	46	25	68	27	38	49	44	25
Linoléico	C18:2	03	03	31	59	13	57	10	12	02	02
Linoléico	C18:3	-	-	02	08	-	01	-	01	-	-

Fuente: (Salager, 2002).

### 2.2.12. Las emulsiones asfálticas.

Los lignosulfonatos pueden utilizarse como agentes emulsionantes y como estabilizadores de emulsiones de una forma similar al de dispersante de sólidos aprovechando sus propiedades surfactantes y tensoactivas, debido a que su estructura presenta una parte hidrófoba y otra hidrófila (molécula anfífila). La parte polar tiene afinidad por los solventes polares, particularmente el agua, mientras que la parte apolar tiene afinidad por los solventes orgánicos como los hidrocarburos, aceites o grasas, formando micelas de sustancias apolares en agua, pudiendo dispersar mezclas inmiscibles para conseguir un vehículo acuoso de una emulsión estable.

Esta propiedad presenta especial interés en su aplicación para la estabilización de emulsiones asfálticas y petrolíferas con gran resistencia a variaciones de temperaturas y contaminación con ácidos y bases débiles. Los asfaltos se

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

acondicionan bajo varias formas. Para poder utilizarlos es necesario fluidificarlos, bien sea calentándolos, diluyéndolos, o emulsionándolos. El tercer método no gasta energía y no produce contaminación ambiental. La emulsión asfáltica debe permanecer estable cuando está almacenada en un tambor. Por eso el surfactante debe impedir que las gotas de asfalto puedan tocarse y coalescer.

Las aplicaciones de los lignosulfonatos debidas a sus propiedades emulsionantes son (Pedraja Santiago, 2016):

- ) Formadores de emulsiones asfálticas y petrolíferas.
- ) Ingredientes en fármacos.
- ) Producción de detergentes.
- ) Estabilizante de emulsiones encolantes de parafina con adicción de PVAc-Pv.
- ) Suspensiones de fertilizantes sintéticos del tipo fosfato de amonio con adicción de bentonita de sodio.

### 2.2.13. Los estudios de canteras para sub rasante de pavimento.

Con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas de 1.5 m. de profundidad mínima, el número mínimo de calicatas por kilómetro estará de acuerdo al cuadro que se indica.

Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, dentro de la faja que

Cubre el ancho de la calzada, a distancias aproximadamente iguales; para luego, si se considera necesario, densificar la exploración en puntos singulares del trazo de la vía.

**Tabla 7** Numero de calicatas para exploración de suelos.

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observaciones
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 600 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>► Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido</li> <li>► Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido</li> <li>► Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km. x sentido</li> </ul>	

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observaciones
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/ día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido</li> <li>▶ Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km. x sentido</li> <li>▶ Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km. x sentido</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 4 calicatas x km.</li> </ul>	
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1 calicata x km.</li> </ul>	

Fuente: (Comunicaciones., 2015)

También se determinará la presencia o no de suelos orgánicos, suelos expansivos, napa freática, rellenos sanitarios, de basura, etc., en cuyo caso las calicatas deben ser más profundas, delimitando los sectores con subrasante pobre o inadecuada que requerirá, para determinar el tipo de estabilización o mejoramiento de suelos de la subrasante, de estudios geotécnicos de estabilidad y de asentamientos donde el ingeniero responsable sustente en su informe técnico que la

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*



solución adoptada según la naturaleza del suelo, alcanzará la estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad. En este tipo de estudios también se realizarán en caso de terraplenes con altura mayor a 5.00 m. En este caso, los valores representativos resultado de los ensayos serán sólo válidos para el respectivo sector.

Donde se encuentre macizo rocoso dentro de la profundidad de investigación, se deberá aplicar lo establecido en la norma MTC E101.

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a metodología para construcción de vías, la clasificación se efectuará obligatoriamente por AASHTO y SUCS (Comunicaciones., 2015).

**Tabla 8** Categorías de subrasante.

Categorías de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante insuficiente	De CBR 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante regular	De CBR 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante buena	De CBR 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena	De CBR 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante excelente	CBR 30%

Fuente: (Comunicaciones., 2015)

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

### Estabilización mecánica

La estabilización mecánica es una técnica de mejora basada en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de mayor calidad y que cumpla las exigencias deseadas.

Las propiedades que generalmente se pretenden mejorar con este tipo de estabilización son la plasticidad y / o la granulometría; la segunda incide sobre su resistencia, trabajabilidad y compacidad final (Bañon Blazquez, 2017).

### Estabilización química

Se denomina estabilización de suelos al proceso de someter los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades, de manera que puedan soportar las condiciones adversas de clima, rindiendo en todo tiempo el servicio adecuado que de ellos se espera (Crespo Villalaz, 1998).

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

Los procedimientos de estabilización, de manera general, consisten en mezclas de suelos con otros de diferentes características o con aditivos; la compactación por medios mecánicos; el uso de membranas impermeables; medios eléctricos, entre otros. La estabilización de suelos tiene como principales objetivos aumentar la resistencia, proporcionar o disminuir la permeabilidad y en lo posible, reducir los cambios volumétricos (asentamientos o expansiones).

En las sub-rasantes de carreteras, la estabilización persigue poder utilizar suelos naturales con una baja calidad de soporte, cercanos a la obra, no aptos por si solos para la construcción, para mejorarlos y hacerlos adecuados de una manera económica.

Los suelos, extraídos de bancos de préstamos cercanos a la obra, con propiedades que pueden variar sustancialmente a poca distancia, deben usarse sin que sus costos sobrepasen lo previsto. Según argumentan (Fernandez Loaiza - Rico & Del Castillo, 1992), en esto, el ingeniero puede tomar tres opciones principales:

a) Aceptar el material tal y como está y proceder al diseño, sin obedecer los requisitos propuestos y calidad de obra que se pidiese, absteniéndose a las consecuencias posteriores;

b) Rechazar el suelo de mala calidad e insatisfactorio y reponer o sustituirlo por un material cuyas propiedades ingenieriles muestren a través del tiempo su buen comportamiento a los agentes externos;

c) Modificar o alterar de la mejor forma las propiedades y características mecánicas de los suelos presentes para hacer de ellos un material que cumpla y reúna la calidad y los requisitos impuestos.

En la primera opción se corre el riesgo de que la obra no se comporte satisfactoriamente y en la segunda puede que los costos sean excesivos. Para la opción de mejoramiento del suelo existen actualmente diferentes procedimientos, o métodos de estabilización:

a) Estabilización por medios mecánicos;

b) Estabilización por drenaje;

c) Estabilización por medios eléctricos;

d) Estabilización por empleo de calor y calcinación;

e) Estabilización por medio químico, adición de agentes estabilizantes.

La estabilización química de suelos consiste en el empleo de sustancias químicas para mejorar las propiedades ingenieriles de los suelos, reduciendo su plasticidad y haciéndolos más resistentes, ante la acción del tráfico y condiciones ambientales. En general el uso de aditivos químicos incrementa en la subrasante la capacidad de soportar cargas sin deformación, y mejora o reduce la pérdida de capa de rodadura o erosión por tráfico pesado o lluvias fuertes.

Es importante para el ingeniero conocer las variadas opciones que existen para la estabilización de suelos por medios químicos, ya que cada una de ellas es eficaz para determinados tipos de suelos. En el diseño de la estabilización de un suelo con agentes estabilizantes químicos se deben tener presentes las variaciones que se espera lograr en lo que se respecta a la estabilidad volumétrica, resistencia mecánica, permeabilidad, durabilidad y compresibilidad (Junco del Pino, Juan M. - Eduardo Tejada, 2011) .

Los procedimientos de estabilización química de suelos más conocidos y empleados son:

- ) Suelo – Cal.
- ) Suelo – Cemento.
- ) Suelo con productos asfálticos.
- ) Suelos arcillosos con aceites sulfonados.
- ) Suelos – ácidos inorgánicos.
- ) Suelos con productos resinosos.
- ) Suelos con cenizas pulverizadas.
- ) Sales.

**Análisis Granulométrico:** es el estudio de la distribución de tamaños de las partículas de los agregados, se determina con una serie de tamices de mallas normalizadas.

Los tamices menores de 4mm. (0.16 pulg.) Se hacen normalmente de tela de alambre aunque se requiere este material puede utilizarse también hasta 16mm (0.62 pulg.) la tela de alambre adecuada deberá ser de bronce fosforado, pero en área experimentelas gruesos de (4mm y mayores) están hechos de la lámina perforada de acero con un área útil de tamizado. Todos los tamices viene montados en marcos que encajarse unos con otros (MTC, 2013).

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

**Plasticidad:** La Plasticidad: es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, por tanto la plasticidad de un suelo depende, no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg.

Los Límites de Atterberg establecen cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC EM 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC EM 111) y el límite de contracción (LC, Según ensayo MTC EM 112). Límite Líquido (LL), cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

Límite Plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe (MTC, 2013).

**California Bearing Ratio (CBR):** describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominados valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR. El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad, pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno (ICG-MTC E 132 - 2000 - Manual de ensayo de materiales , 2000).

**Proctor Modificado:** Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un modelo de 4 o 6 pulgadas (101.6 o 152.4mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44.5 N) que cae de altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de compactación de 56 000lb-pie/pie<sup>3</sup> (2700 kN-m/m<sup>3</sup>) (ICG-MTC E 132 - 2000 - Manual de ensayo de materiales , 2000).

**Pavimento Flexible:** Estructura compuesta por capas granulares (sub base, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico,

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

**El pavimento semirrígido:** Estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.

**El pavimento rígido:** Estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de sub base granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivos. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías (MTC, 2013).

## 2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.4.1. Hipótesis general

El aceite de soya influye en el comportamiento de los suelos granulares para sub rasante de pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del cusco.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

El comportamiento mecánico del suelo granular de subrasante para un pavimento rígido urbano estabilizado con aceite de soya muestra un cambio en su resistencia.

## 2.5. VARIABLES

### 2.5.1. Variable independiente

) Aceite de soya.

#### Indicadores:

) % de aceite en peso

### 2.5.2. Variable dependiente

) Suelos granulares.

#### Indicadores:

) CBR

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

### 2.5.3. Operacionalización de las Variables

Las variables anteriormente presentadas se obtienen a partir de dos ensayos de laboratorio ampliamente conocidos y estandarizados como son el ensayo de Proctor modificado y el ensayo de CBR.

Para fines prácticos se considera que:

Incremento del porcentaje en peso de  
aceite de soya usado como aditivo del  
suelo. = Incremento en el  
porcentaje de CBR.

---

# CAPITULO III

# METODOLOGIA DE LA

# INVESTIGACION

---

### **3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación es de tipo correlacional de enfoque cuantitativo.

#### **3.1.2. Nivel de investigación**

El presente trabajo de investigación es de nivel experimental.

### **3.2. DESCRIPCION DEL AMBITO DE LA INVESTIGACION**

#### **DELIMITACION TEMPORAL**

El estudio se llevará a cabo en el primer semestre del año 2017, por lo que este período se convierte en su delimitación temporal hasta 2018.

#### **DELIMITACION CONCEPTUAL**

La presente investigación abordará los principios conceptuales del diseño de estructuras de pavimentos, especialmente el rígido, los principios de la geotecnia y estabilización de suelos.

#### **DELIMITACION ESPACIAL**

Por su naturaleza la presente tesis se circunscribe a la ciudad del Cusco, y al suelo de muestra obtenida de la cantera de Pata Pata (ubicado en la zona: 19 L Este = 187664,00 – Norte = 8501228,00 S) por ser esta la mayor uso en pavimentos urbanos en el Cusco.

### **3.3. POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.3.1. Población**

Suelos granulares destinados a la construcción de pavimento rígido urbano en la provincia de Cusco en el año 2017.

#### **3.3.2. Muestra**

Por conveniencia para la investigación fue tomada de la cantera de Patapata, de la localidad del distrito de San Jerónimo.

### **3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

#### **3.4.1. Técnicas**

- ) Primeramente, se realizó la recopilación documental de las bases teóricas.
- ) Luego, se empleó la observación del fenómeno en laboratorio.

#### **3.4.2. Instrumentos**

- ) Protocolos de ensayo.
- ) Análisis documental y codificación de conceptos.

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*



---

# CAPITULO IV

# ESTUDIO DE MATERIALES

---

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

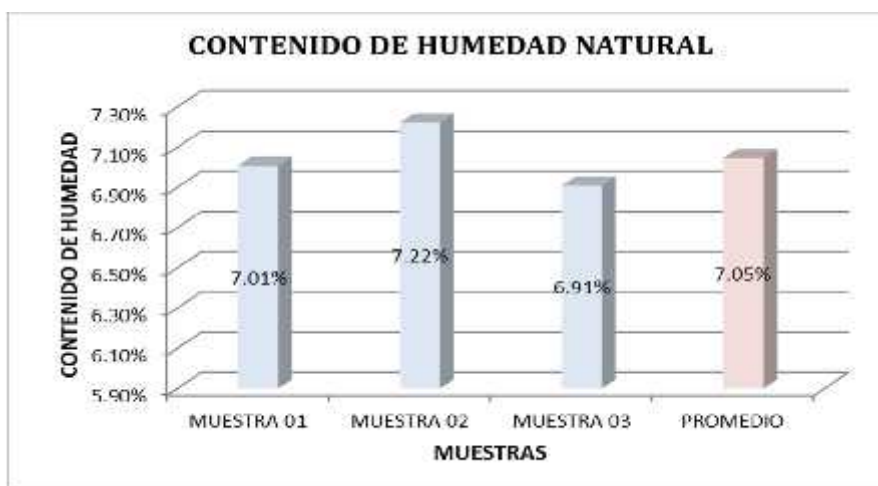
Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la madre roca, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas: física, química y biológica. De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se analizan en dos grupos: los suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, o sea los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Los depósitos naturales que forman todo tipo de suelo son tan variados que ningún método de exploración es ideal para todos los casos; esto significa que cada suelo requerirá, probablemente, de un procedimiento para investigarlo muy diferente del que necesitará otro subsuelo. Antes de proceder a explorar, es conveniente un análisis y observación preliminar de la zona para tener información que, en muchos casos, evitará investigaciones costosas e innecesarias.

#### 4.2. MATERIAL DE CANTERA

La muestra a utilizar para los ensayos de la presente tesis, corresponden a la cantera de Patapata y su función es determinar la influencia del Aceite de Soya en sus propiedades físicas y mecánicas del suelo, con la adición de este aditivo químico en diferentes porcentajes con respecto del peso seco del suelo.

**Ilustración 3** Humedad natural de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

**TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”

---

# CAPITULO V

## RESULTADOS Y DISCUSION

---

## 5.1. RESULTADOS

Este capítulo muestra el procesamiento y posterior análisis de los datos obtenidos en el trabajo de campo.

## 5.2. Procesamiento de los datos.

Como resultado de los ensayos de laboratorio ejecutados durante la fase de recolección de datos y trabajo de campo detallado en el capítulo anterior, se ha obtenido el resumen de datos que se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 9** Resumen de datos de la investigación.

N° de ensayo	Contenido óptimo de humedad (%)	% en peso de aceite (g)	Contenido de humedad natural antes del ensayo sin añadir agua ni aceite (%)	Peso de agua añadido (gramos)	Peso de aceite añadido (gramos)	Peso del suelo seco (gramos)	Densidad seca g/cm <sup>3</sup> (antes del ensayo)	densidad húmeda g/cm <sup>3</sup> (después del ensayo)	Contenido de humedad luego del ensayo (%)	volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Número de Golpes	Expansión (%)
1	7.44	0	4.70	147.00	0.00	5227.30	2.280	2.250	8.31	2110	58.30	56	0.1
2	7.44	0	4.86	137.90	0.00	5210.99	2.170	2.170	9.79	2047	46.9	26	0.1
3	7.44	0	5.70	120.84	0.00	5187.52	2.070	2.100	9.30	2123	25.6	12	0.2
4	6.44	1	5.69	41.40	55.00	5170.78	2.265	2.265	6.63	2120	52.6	56	0.0
5	6.44	1	5.50	51.53	55.00	5184.83	2.267	2.257	8.02	2052	49.8	26	0.1
6	6.44	1	6.06	22.40	55.00	5151.80	2.113	2.108	8.13	2122	15.6	12	0.1
7	5.44	2	0.65	262.94	109.97	5489.31	2.241	2.208	6.51	2122	39.8	56	0.3
8	5.44	2	3.83	87.50	104.54	5226.81	2.197	2.194	7.60	2063	27.0	26	0.4
9	5.44	2	3.98	97.64	104.51	5225.55	2.050	2.047	9.03	2132	7.1	12	0.3
10	4.44	3	2.06	127.34	160.52	5350.77	2.198	2.219	6.08	2136	31.3	56	0.4
11	4.44	3	1.84	139.26	160.69	5356.44	2.167	2.161	6.19	2140	28.4	26	0.3
12	4.44	3	0.83	197.17	163.85	5461.67	2.045	2.022	7.24	2125	7.80	12	0.3
13	3.44	4	4.46	2.08	210.71	5242.96	2.222	2.228	3.75	2127	27.0	56	0.5
14	3.44	4	4.27	11.97	210.12	5205.72	2.160	2.157	4.89	2137	22.8	26	0.4
15	3.44	4	4.20	15.67	210.64	5221.69	2.105	2.078	6.58	2064	8.5	12	0.4
16	7.44	1	4.67	156.00	52.40	5240.27	2.189	2.194	7.73	2125	14.9	56	0.2
17	7.44	1	4.36	169.30	52.62	5262.55	2.286	2.249	8.06	2058	8.5	26	0.3
18	7.44	1	5.68	101.74	52.02	5201.55	2.122	2.131	8.11	2120	27	12	0.1
19	7.44	2	4.82	144.39	105.15	5257.58	2.141	2.136	7.52	2136	15.6	56	0.4
20	7.44	2	4.45	167.14	107.04	5351.84	2.238	2.216	7.39	2058	9.2	26	0.3
21	7.44	2	5.30	119.95	106.46	5322.89	2.037	2.031	8.34	2119	16.4	12	0.0
22	7.44	3	5.87	86.38	155.91	5196.94	2.112	2.117	7.62	2118	9.2	56	-0.1
23	7.44	3	5.76	92.67	156.18	5206.13	2.228	2.231	6.54	2045	12.1	26	-0.1
24	7.44	3	3.00	243.93	160.02	5333.98	2.096	2.115	7.13	2112	24.2	12	-0.1

Fuente: Elaboración propia.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

El procesamiento de datos ha consistido básicamente en ordenar los datos, hacer los cálculos para obtener los principales estadísticos de los datos y sobre todo determinar la normalidad de la distribución de los mismos. Por otro lado se han determinado tanto los coeficientes de correlación como los coeficientes de determinación.

### 5.3. Análisis de los Datos.

En principio se ha determinado la normalidad de la distribución en los resultados de CBR. A continuación se detallan los cálculos.

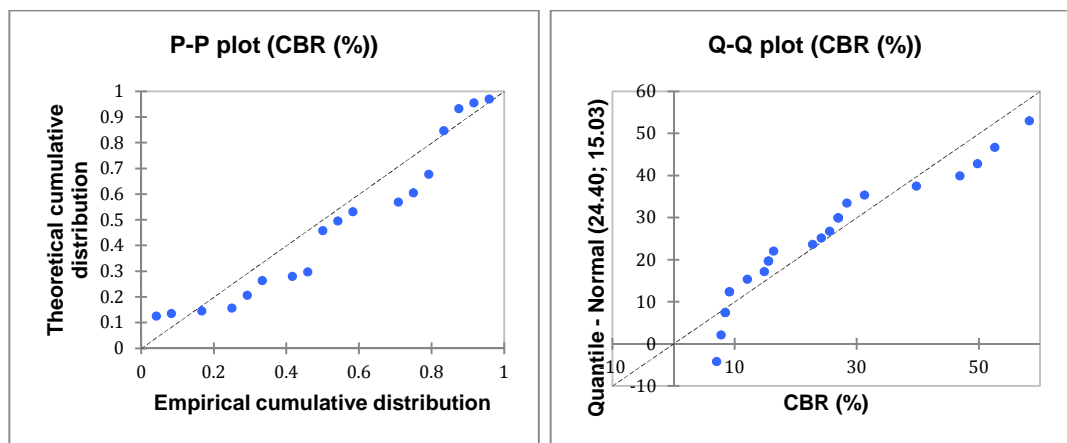
**Tabla 10** Resumen de pruebas de normalidad de los datos CBR.

Variable\Test	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
CBR (%)	<b>0.015</b>	<b>0.022</b>	0.130	0.266

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia, tanto la prueba de Lilliefors como la de Jarque-Bera muestran que la distribución de los datos de CBR sigue una distribución normal con un nivel de significancia de 5%. A continuación se muestran los gráficos P-P y Q-Q.

**Ilustración 4** Gráficos de P-P y Q-Q de los datos CBR.



Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se han determinado los principales estadísticos para la variable CBR con un intervalo de confianza de 95%. Los resultados se detallan a continuación.

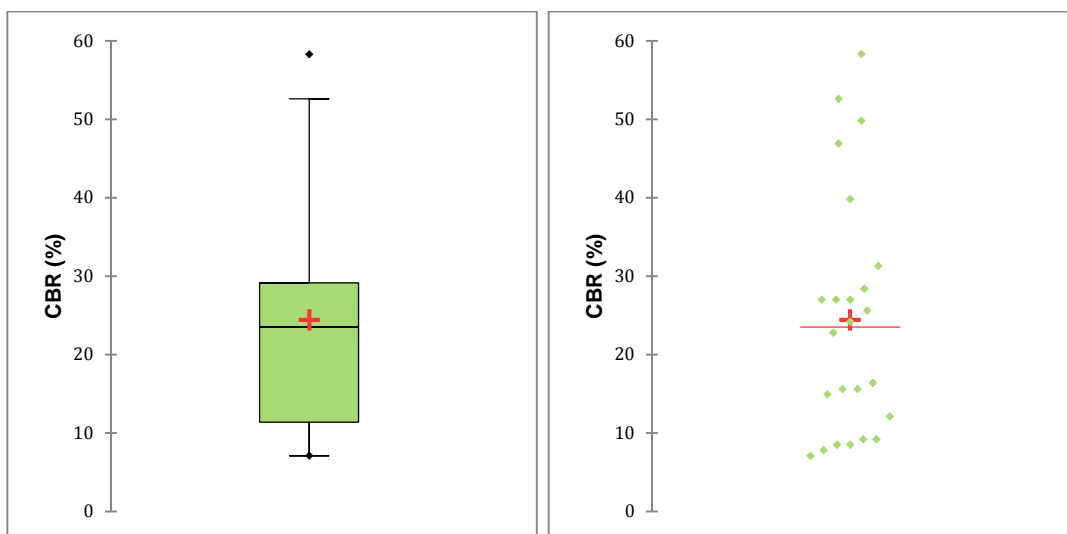
**Tabla 11** Principales estadísticos de los datos CBR.

Estadístico	CBR (%)
Observaciones	24
Mínimo	7.10
Máximo	58.30
Media	24.40
Desviación estándar	15.35
Coefficiente de variabilidad	61.6%

Fuente: Elaboración propia.

Conforme se aprecia, el coeficiente de variabilidad de los datos CBR es muy alto, esto amerita que los resultados siguientes sean tomados con precaución.

A continuación se muestran los gráficos de dispersión y de caja y bigote para la variable CBR.

**Ilustración 5** Grafico de caja y bigote y de dispersión de los datos CBR.

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa, existe un valor de CBR de 58.3%, que es el máximo que parece ser un valor atípico, por lo tanto se excluirá de los siguientes cálculos.

A continuación se ha calculado la matriz de correlaciones para todas las variables obtenidas de los ensayos de laboratorio, dichas correlaciones se detallan en la siguiente tabla.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

**Tabla 12** Matriz de correlaciones Pearson de los datos CBR.

Variables	Contenido óptimo de humedad (%)	% en de aceite (g)	Cont. Hum.natural antes del ensayo sin añadir agua ni aceite (%)	peso de agua añadido (g)	peso de aceite añadido (g)	Peso del suelo seco (g)	densidad seca g/cm3 (antes del ensayo)	densidad húmeda g/cm3 (después del ensayo)	Contenido de humedad luego del ensayo (%)	volumen de la muestra (cm3)	CBR (%)	Numero de Golpes	Expansión (%)
N° de ensayo	0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0.0	-0.7	-0.1	-0.2
Contenido óptimo de humedad (%)	<b>1.0</b>	-0.7	0.5	0.4	-0.7	-0.2	0.1	0.1	0.7	-0.3	0.1	0.0	-0.7
% en de aceite (g)	-0.7	<b>1.0</b>	-0.4	-0.2	1.0	0.3	-0.2	-0.2	-0.8	0.2	-0.5	0.0	0.3
Contenido de humedad natural antes del ensayo sin añadir agua ni aceite (%)	0.5	-0.4	<b>1.0</b>	-0.6	-0.4	-0.9	0.0	0.1	0.3	-0.3	0.0	-0.1	-0.5
Peso de agua añadido (g)	0.4	-0.2	-0.6	<b>1.0</b>	-0.2	0.7	0.0	-0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	-0.1
Peso de aceite añadido (g)	-0.7	1.0	-0.4	-0.2	<b>1.0</b>	0.3	-0.2	-0.2	-0.8	0.2	-0.4	0.0	0.3
Peso del suelo seco (g)	-0.2	0.3	-0.9	0.7	0.3	<b>1.0</b>	-0.1	-0.2	-0.2	0.2	-0.1	0.1	0.3
Densidad seca g/cm3 (antes del ensayo)	0.1	-0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.1	<b>1.0</b>	1.0	-0.3	-0.4	0.5	0.6	0.1
Densidad húmeda g/cm3 (después del ensayo)	0.1	-0.2	0.1	-0.1	-0.2	-0.2	1.0	<b>1.0</b>	-0.3	-0.3	0.6	0.6	0.0
Contenido de humedad luego del ensayo (%)	0.7	-0.8	0.3	0.3	-0.8	-0.2	-0.3	-0.3	<b>1.0</b>	-0.3	0.0	-0.4	-0.4
Volumen de la muestra (cm3)	-0.3	0.2	-0.3	0.0	0.2	0.2	-0.4	-0.3	-0.3	<b>1.0</b>	0.0	0.2	0.2
<b>CBR (%)</b>	<b>0.1</b>	<b>-0.5</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>-0.4</b>	<b>-0.1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1.0</b>	<b>0.4</b>	<b>-0.2</b>
Número de Golpes	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.1	0.6	0.6	-0.4	0.2	0.4	<b>1.0</b>	0.1
Expansión (%)	-0.7	0.3	-0.5	-0.1	0.3	0.3	0.1	0.0	-0.4	0.2	-0.2	0.1	<b>1.0</b>

Fuente: Elaboración propia.

Conforme se aprecia, la correlación entre la resistencia CBR y el contenido de aceite de soya en el suelo es inversa y de fuerza media ascendente a -0.5.

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

A continuación se procede a detallar los cálculos de la matriz de coeficientes de determinación par a la variable de CBR.

**Tabla 13** Matriz de coeficientes de determinación Pearson de los datos CBR.

Variables	Contenido óptimo de humedad (%)	% en de aceite (g)	Cont. Hum.natural antes del ensayo sin añadir agua ni aceite (%)	peso de agua añadido (g)	peso de aceite añadido (g)	Peso del suelo seco (g)	densidad seca g/cm3 (antes del ensayo)	densidad húmeda g/cm3 (después del ensayo)	Contenido de humedad luego del ensayo (%)	volumen de la muestra (cm3)	CBR (%)	Número de Golpes	Expansión (%)
N° de ensayo	3%	28%	0%	2%	27%	3%	6%	5%	6%	0%	47%	1%	3%
Contenido óptimo de humedad (%)	100%	48%	27%	14%	49%	5%	1%	1%	47%	7%	0%	0%	46%
% en de aceite (g)	48%	100%	15%	4%	100%	9%	4%	5%	61%	3%	21%	0%	11%
Contenido de humedad natural antes del ensayo sin añadir agua ni aceite (%)	27%	15%	100%	33%	16%	77%	0%	1%	11%	7%	0%	0%	20%
Peso de agua añadido (g)	14%	4%	33%	100%	4%	54%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	2%
Peso de aceite añadido (g)	49%	100%	16%	4%	100%	11%	4%	5%	62%	4%	20%	0%	11%
Peso del suelo seco (g)	5%	9%	77%	54%	11%	100%	1%	2%	5%	4%	1%	0%	7%
Densidad seca g/cm3 (antes del ensayo)	1%	4%	0%	0%	4%	1%	100%	95%	7%	16%	27%	33%	1%
Densidad húmeda g/cm3 (después del ensayo)	1%	5%	1%	0%	5%	2%	95%	100%	8%	12%	31%	36%	0%
Contenido de humedad luego del ensayo (%)	47%	61%	11%	8%	62%	5%	7%	8%	100%	7%	0%	13%	16%
Volumen de la muestra (cm3)	7%	3%	7%	0%	4%	4%	16%	12%	7%	100%	0%	6%	3%
<b>CBR (%)</b>	<b>0%</b>	<b>21%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>20%</b>	<b>1%</b>	<b>27%</b>	<b>31%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>	<b>14%</b>	<b>3%</b>
Número de Golpes	0%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	36%	13%	6%	14%	100%	2%
Expansión (%)	46%	11%	20%	2%	11%	7%	1%	0%	16%	3%	3%	2%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Es interesante anotar que, según los datos mostrados en la anterior tabla, la determinación de la resistencia CBR de las muestras sólo está afectada en un 21%

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*



por el contenido de aceite de soya con el que fue estabilizado. Por otro lado, la densidad húmeda después del ensayo parece explicar hasta un 30% de la resistencia CBR, siendo que su correlación es de 0.6 positiva, en otras palabras la resistencia CBR se ha visto afectada por el cambio de humedad al momento de la realización de los ensayos.

#### **5.4. Discusión de resultados.**

En principio, no ha sido posible encontrar una dosificación por metro cúbico del aceite de soya, puesto que, como ya se vio, el aceite de soya disminuye el índice de CBR de suelo.

Se ha realizado una comparación de índices de CBR del material de cantera sin aceite de soya versus el material de cantera con distintas proporciones de aceite de soya encontrándose que, a mayor contenido de aceite de soya, menor es el índice de CBR.

Adicionalmente a los ensayos con aceite de soya a temperatura ambiente, se realizaron ensayos puntuales con aceite de soya calentado a 70°C encontrándose una ligera mejora del CBR.

La relación causa efecto de la disminución del índice de CBR con el aumento de porcentaje de aceite de soya en la masa del suelo es atribuible a que se ha remplazado parte del contenido de humedad del suelo por aceite, esto dificulta la función de lubricación entre partículas. El mencionado efecto es más notorio a bajas temperaturas dado que los fluidos como el aceite aumentan su viscosidad con la disminución de temperatura.

Los ensayos que se han realizado han sido ejecutados con distintos niveles de aceite de soya, esto para intuir cómo influye dicha presencia en la masa del suelo en el comportamiento de los suelos granulares.

El análisis de datos de la presente tesis no permite generalizar las conclusiones debido fundamentalmente a que los ensayos sólo han sido realizados a temperatura ambiente (10°C-20°C).

Los lignosulfonatos actúan como cementante, ligando las partículas del suelo entre sí. Tienden a mantener la plasticidad, permitiendo la compactación del suelo cuando son aplicados en caminos con alto contenido de arcilla. La eficiencia y superficie de los lignosulfonatos puede ser reducida o completamente destruida en presencia de

agua. Estos productos escurren por la solubilidad que poseen en agua. No logran formar una superficie hidrorrepelente.

Los aceites vegetales son generalmente una mezcla de glicéridos y provienen de semillas y/o frutos. Algunos ejemplos de aceites vegetales son: canola, soya, semilla de algodón. Actúan originando la aglomeración de las partículas de suelo, creando una suave costra sobre la superficie, pero su eficiencia es de corto plazo.

La presente tesis se relaciona con investigaciones anteriores en el uso del aceite de soya como mitigante de la contaminación del aire por partículas sólidas suspendidas, es decir, como supresores de polvo.

Se debe tener en cuenta que los factores no controlados que han podido afectar los resultados de la investigación son: la temperatura (tanto del suelo como del aceite de soya), el nivel de contenido de finos del material, el tipo de aceite escogido respecto de su composición química industrial, entre otros.

Finalmente, no se ha encontrado una aplicación práctica de los resultados obtenidos en la presente tesis, sin embargo, su utilidad teórica como una investigación de tipo exploratorio sirve como punto de inicio para la discusión del uso nuevos aditivos eco amigables dentro del ámbito de la ingeniería civil.

El deterioro de la resistencia del suelo en función del CBR podría explicarse por la característica hidrorrepelente del aceite de soya que expulsó el agua de la masa de suelo, haciendo que éste no alcance la densidad máxima seca prevista en los ensayos sin adición de aceite de soya en la masa del suelo.

Aun cuando se esperaba que los ensayos revelaran un contenido óptimo de porcentaje de soya como aditivo que mejore la resistencia del suelo, esto no ha podido ser posible debido a que el aceite actuó como reductor de la resistencia CBR del suelo.

---

# CAPITULO VI

# CONCLUSIONES Y

# RECOMENDACIONES

---

## 6.1. CONCLUSIONES

- Se ha realizado el estudio del potencial estabilizante del aceite de soya como aditivo para los suelos granulares de sub rasante de pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco.
  
- El comportamiento mecánico del suelo granular de subrasante para un pavimento rígido urbano estabilizado con aceite de soya muestra un deterioro estadísticamente significativo en su resistencia medida a través del CBR, por lo que no se ha podido determinar el porcentaje de aceite de soya a utilizarse como aditivo estabilizante de suelos granulares.
  
- Se ha evaluado el efecto del aceite de soya en el índice CBR de un suelo granular con las siguientes consideraciones: El contenido de la humedad óptima y densidad máxima de las muestras estabilizadas con aceite de soya, siendo que estas corresponden a de 7.44% para el contenido óptimo de humedad y de 2.271 g/cm<sup>3</sup> para la densidad máxima seca.
  
- Se aclara que el aceite de soya influye en el comportamiento de los suelos granulares para sub rasante, sin embargo, esta influencia es negativa puesto que influye negativamente en la resistencia del suelo y esto se comprueba con la disminución en el índice CBR.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir con las líneas de investigación que permitan dilucidar los otros factores que potencien la acción de aceite de soya como estabilizante de suelos.
- Buscar otros agentes complementarios que podría activar sus propiedades estabilizantes del aceite de soya.
- Se recomienda realizar ensayos expeditivos de laboratorio adecuadas o apropiados que podría dilucidar mejor la reacción del aceite de soya con muestra del suelo.
- Investigar cual sería el proceso de curado a seguir de un suelo estabilizado con aceite de soya para mejorar sus propiedades mecánicas.
- La temperatura adecuada del aceite soya para su aplicación al suelo y mejorar su propiedad estabilizante.
- Se recomienda tener un enfoque de aporte a las futuras investigaciones, considerar la influencia de la temperatura en el potencial estabilizante del aceite de soya, considerar el potencial estabilizante del aceite de soya en suelos cohesivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Pacheco, M. (Jueves de 07 de 2017). *www.es.slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/WaltherCastro/relaciones-volumetricas-y-gravimetricas>
- (EcuRed), I. C. (Domingo de Julio de 2017). [https://www.ecured.cu/Sal\\_cuaternaria](https://www.ecured.cu/Sal_cuaternaria). Obtenido de [https://www.ecured.cu/Sal\\_cuaternaria](https://www.ecured.cu/Sal_cuaternaria): [https://www.ecured.cu/Sal\\_cuaternaria](https://www.ecured.cu/Sal_cuaternaria)
- APECSACV.S.A. (2010). *Hoja tecnica del aceite de soya*.
- Bañón Blazquez, L. (Viernes de Julio de 2017). [https://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/02020403.pdf](https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02020403.pdf). Obtenido de [https://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/02020403.pdf](https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02020403.pdf): [https://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/02020403.pdf](https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02020403.pdf)
- BOWLES, J. (1980). *Manual de laboratorio de mecanica de suelos*. Colombia: Mc. Graw Hill.
- CamachoTauta - Reyes Ortiz - Mayorga Antolinez, J.-O.-C. (s.f.). *Curado natural y acelerado de una arcilla estabilizada con aceite sulfonada*. Bogota - Colombia: Universidad Militar Nueva Granada - Programa de Ingenieria Civil.
- Choque Z., H. (2012). *Evaluacion de aditivo quimicos en la eficiencia de la conservacion de superficies*. Lima \_ Peru: Universidad Nacional de Ingenieria - Civil.
- Comunicaciones., D. d. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación*. Lince - Peru: Servicios Gráficos JMD s.r.l.
- Crespo Villalaz, C. (1998). *Mecanica de suelos y cimentaciones*. Mexico: Limusa.

**TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”

- DAS, B. M. (2001). *PRINCIPIOS DE INGENIERIA DE CIMENTACIONES-CUARTA EDICION*. California state University, Sacramento: INTERNATIONAL THOMSON EDITORES.
- Di Rado, - Fabre, - Miño, H.-V.-F. (2000). *Estabilización de suelos con tanino*. Argentina: Universidad Nacional del Norte, Comunicaciones Cientificas y Tecnologicas.
- Fernandez Loaiza - Rico & Del Castillo, C. (1992). *Mejoramiento y estabilizacion de suelos*. Mexico: Limusa.
- Guardapuella Velazque, L. (2015). *Mejoramiento de suelos con resina de ciprés en estructuras de pavimentos flexibles*. Cusco: Universidad Alas Peruanas.
- Hinrichsen Triveños, N. N. (2005). *Estudio d comportamiento de suelo estabilizado con sal, frente a la accion del agua, para distintas mezclas*. Valdia - Chile: Universidad Austral de Chile - Facultad de Cienecias de la Ingenieria.
- ICG-MTC E 132 - 2000 - Manual de ensayo de materiales . (2000). *CBR de suelos (laboratorio) MTC e 132* . Lima: DGCF.
- Juarez Badillo - Rico Rodriguez, E.-A. (2005). *MECANICA DE SUELOS tomo 1 - Fundamentos de la Mecanica de suelos*. Mexico: Limusa.
- Juarez Badillo - Rodriguez, E.-A. (1984). *Mecanica de Suelos tomo II Tercera Edicion* . Mexico: Limusa.
- Junco del Pino, Juan M. - Eduardo Tejada. (2011). Aditivo quimico de sales cuaternarias para la estabilizacion de suelos arcillos de subrasante de carreteras. *Arquitectura e ingenieria*.
- Materiales, M. d. (2000). *Gravedad Especifica y Absorcion de agregados finos MTC E 205 - 200*. Lima: MTC.

**TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento - SENCICO. (2010). *NORMA CE. 010*. Lima: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento .
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras "suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos"*. Lima.
- MTC E 1109 Norma Técnica de estabilizadores químicos. (2004). *Estabilización química de suelos - Caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado*. Lima: Dirección General de caminos y Ferrocarriles DGC y F - PERU.
- Newmark Mortimore, N. (1942). *Gráficos de influencia para el cálculo de tensiones en fundaciones*. Estados Unidos: Universidad de Illinois Bulletin N° 338.
- Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, del RNE. (s.f.). *PROYECTO DE NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS*. LIMA: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Pedraja Santiago, A. (2016). *COMBUSTIÓN, GASIFICACIÓN Y PIRÓLISIS DE LIGNOSULFONATO DE CALCIO MEDIANTE TG-DSC-MS*. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS: UNIVERSIDAD DE CANTABRIA.
- Quinche Granada, W. O. (2006). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para uso en vías terrestres*. Loja - Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Reyes Ortiz - Camacho T. - Troncoso R., O.-J.-J. (2006). *USO DE CLORURO DE SODIO EN BASES GRANULARES*. Bogotá - Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Roldán de Paz, J. (2010). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO (NaCl) PARA BASES Y SUB BASES*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil.

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"



Ruano L., D. (2012). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de arenas volcánicas y cal viva*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería.

Salager, J. L. (2002). *Surfactantes Tipos y Usos - Laboratorio de Formulación, interfaces Reología y Proceso*. Merida - Venezuela: Universidad de los Andes - Escuela de Ingeniería Química.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2002). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.

---

# ANEXO

---

## **ANEXO A. ENSAYOS DE LABORATORIO.**

### **ENSAYO DEL LIMITE LIQUIDO (LL)**

Para poder establecer valores definidos, reducibles de estos límites se propuso arbitrariamente como el contenido de humedad al cual una masa de suelo húmedo colocado en un recipiente de forma cóncava de bronce separada en dos por acción de una herramienta para hacer una ranura patrón y dejada caer desde una altura de 1 cm. Sufrir después de dejarla caer 25 veces una falla de cierre de ranura en una longitud de 12.7mm.

### **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO LIMITE LIQUIDO (LL)**

- I. Tamizar la muestra de suelo a través de la malla N° 40 en un promedio de 250 gr.
- II. Colocar los 250 gr. de suelo en un recipiente de porcelana, añadir una pequeña cantidad de agua y mezclar cuidadosamente el suelo hasta obtener un color uniforme, cada vez se debe de añadir un poco más de agua para que la consistencia resultante permita un número de golpes para la falla en un rango de 20 a 40 golpes.
- III. Se coloca material suficiente desde el pocillo de mezcla a la cuchara.
- IV. Con la ayuda de la espátula para extender el material se forma una masa alisada de 1 cm. En el punto de máxima profundidad.
- V. La muestra que está en la cuchara, se divide con un trazo firme del acanalador a lo largo del diámetro que arranca del centro del asa de manera que se forme un surco claro y bien definido de dimensiones adecuadas
- VI. Limpiar el acanalador antes de que el suelo se seque en él.
- VII. Con la cuchara de Casagrande bien calibrada se gira la manivela a razón de dos golpes por segundo aproximadamente y se cuenta el número de golpes para cerrar la acanaladura en una distancia promedio de ½ pulgada; si esta no se cierra entre los 35 a 40 golpes se añade agua y se vuelve a mezclar hasta que alcance una consistencia adecuada.
- VIII. Se toma aproximadamente 10 gr. de material de la parte cerrada del surco, colocándolos en una cápsula para luego ser pesados.
- IX. Se mezcla la muestra añadiendo una ligera cantidad de agua; y se repite los pasos del 3.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

- X. Se determina el contenido de humedad de todas las muestras obtenidas durante el ensayo (MTC E 110 - 2000).

#### PROCESAMIENTO DE DATOS (LL)

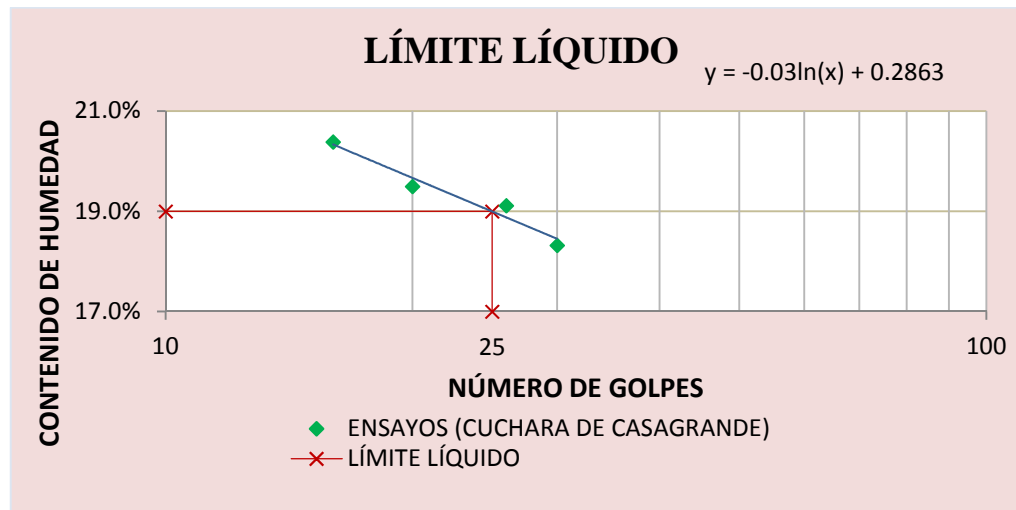
Se marca la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes en papel semilogarítmico.

Se conecta los puntos con una línea recta. El contenido de agua indicado por la intersección de esta línea con la de los 25 golpes, es el límite líquido.

#### EQUIPO DE LABORATORIO:

- a) Cuchara de Casagrande.
- b) Ranurador.
- c) Espátula y pocillo para mezclar.
- d) Cápsulas.
- e) Gotero.
- f) Balanza con precisión de 0.1 gr.
- g) Estufa de 110 °C.

**Ilustración 6** Resultados de Limite Liquido de la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

#### ENSAYO DEL LIMITE PLASTICO (LP)

De la muestra preparada al inicio del ensayo del límite líquido, se deja secar una cantidad hasta que alcance una consistencia tal, que el material no se adhiera a

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

las manos, pero pueda ser enrollado en forma de cilindros pequeños sin desmenuzarse. Bowles (BOWLES, 1980).

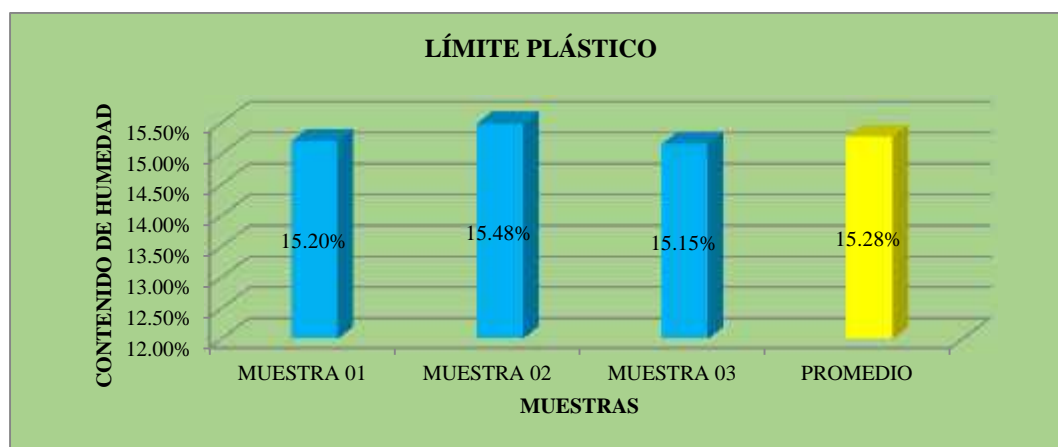
#### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO (LP)

- I. Se toma una porción de la muestra y se hace rodar con la palma de la mano sobre una superficie limpia y lisa, hasta formar un cilindro de 1/8 de pulgada (3.17mm.) y de aproximadamente 3 pulgadas de longitud.
- II. Se pliega el cilindro y se aprieta para formar una bola, que luego se enrolla de nuevo.
- III. Se repite el punto II, reduciendo gradualmente el contenido de humedad, al evaporarse el agua según se manipula la masa.
- IV. El límite plástico se alcanza cuando el bastoncillo se desmigaja en varias piezas al ser rodado.
- V. Colocar la muestra inmediatamente se haya desmoronado, en una cápsula; pesar inmediatamente para determinar su contenido de humedad. Para la comprobación del límite plástico, se repiten los pasos del I al V con la porción que quedo de la muestra original.

#### EQUIPO DE LABORATORIO:

- a) Vidrio esmerilado.
- b) Balanza.
- c) Capsulas.
- d) Estufa de 110 °C.

**Ilustración 7** Resultados obtenidos de los ensayos LP.



Fuente: Elaboración propia.

## ENSAYO DE GRANULOMETRIA

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño. De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

**Tabla 14** Categorías de subrasante.

TIPO DE MATERIAL		TAMAÑO DE LAS PARTICULAS
GRAVA		75 mm - 4.75 mm
ARENA		Arena gruesa: 4,75 mm – 2,00 mm
		Arena Media: 2,00 mm – 0,425 mm
		Arena fina: 0,425 mm – 0,075 mm
MATERIAL FINO	LIMO	0,075 mm – 0,005 mm
	ARCILLA	Menor a 0,005 mm

Fuente: (MTC, 2013).

## PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO GRANULOTRICO

El ensayo se realiza solo con muestras de suelo estándar, es decir cómo se halla en la naturaleza.

- I. Se obtiene aproximadamente 500 gr. de suelo secado al horno.
- II. Colocar la muestra sobre el tamiz N° 200 y lavar cuidadosamente el material, hasta cuando el agua que pasa a través del tamiz, sea transparente; este proceso se realiza cuidadosamente para no dañar la malla ni perder parte de la muestra.
- III. Verter el residuo en un pocillo y permitirle sedimentar; eliminar el agua que sea posible y colocar el recipiente con la muestra en el horno para el secado.
- IV. Al día siguiente pesar la muestra secada al horno, eligiendo luego la serie de tamices recomendables para el tipo de suelo.

**TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”

- V. Colocar la serie de tamices en un agitador mecánico y tamizar aproximadamente de 5 a 10 minutos, dependiendo de una inspección visual, sobre la dificultad probable, dada la cantidad de material; alternar el modo de agitación de forma que los granos sean impulsados continuamente a través de las mallas; no es aconsejable mantener un ritmo fijo durante la agitación.
- VI. Quitar la serie de tamices del agitador mecánico y obtener el peso del material que quedó retenido en cada tamiz. Sumar estos pesos y comparar el total con el peso total obtenido en el paso 4, esta operación permite detectar cualquier pérdida de suelo durante el proceso de tamizado mecánico.
- VII. Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos, por el peso de la muestra original utilizada en el paso 2.
- VIII. Calcular el porcentaje que pasa (o el porcentaje más fino) que comenzando por 100% y sustraer el porcentaje retenido en cada tamiz como un proceso acumulativo.
- IX. Luego se realiza una gráfica en papel semi-logarítmico del tamaño de la partícula contra el porcentaje más fino. Si más del 12% del material fino atraviesa la malla N° 200, entonces la clasificación de suelos se realizara con la ayuda de los límites de Atterberg.

#### EQUIPO DE LABORATORIO:

- a) Juego de tamices (2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200).
- b) Comba.
- c) Pocillo.
- d) Agitador mecánico.
- e) Balanza de precisión.
- f) Estufa de 110°C.

#### CLASIFICACION DE SUELOS

Para realizar la clasificación de los suelos a utilizar, se hizo uso de los sistemas de clasificación AASHTO Y SUCS, estos resultados de clasificación se

incluyen en las hojas de cálculo del ensayo de granulometría presentado anteriormente.

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

**Tabla 15** Correlación de tipos de suelos ASSHTO - SUCS

<b>Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145</b>	<b>Clasificación de Suelos SUCS ASTM - D – 2487</b>
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: (MTC, 2013).

A continuación se presenta un cuadro resumen de la clasificación de los suelos utilizados en la investigación.

**Tabla 16** Resumen del suelo (ASSHTO – SUCS)

<b>SUELO UTILIZADO</b>	<b>AASHTO</b>	<b>SUCS</b>
Muestra de Suelo (Cantera - Patapata)	A – 2 – 4 (0) (Materiales Granulares con partículas finas limosas)	GM (Grava limosa con arena)

Fuente: Elaboración propia.

## ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS SEGÚN NORMAS MTC E 205 - 2000

En este análisis en laboratorio se analiza la calidad de los agregados grueso y fino, luego procedimos a determinar sus propiedades físico mecánicas, las cuales fueron: Peso específico (de masa, en el estado sss y aparente), el porcentaje de

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*



absorción, el contenido de humedad, el peso unitario seco y compactado, características que brindan una valiosa información de la capacidad de servicio de la estructura a largo plazo. El peso específico, es de vital importancia, para determinar el peso de los agregados existentes en la dosificación. La absorción, es la prueba realizada para realizar correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto (Materiales, 2000).

#### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SUELOS FINOS

- I) Después de mezclar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior al tamiz N°. 4, se toma una muestra representativa de aproximadamente de 1kg., luego se somete al horno a 100 – 110 °C. luego la muestra se deja enfriar a temperatura del ambiente, paso siguiente se pesa hasta obtener un peso constante, para luego será inmerso en agua durante 24 horas.
- II) Luego del periodo de inmersión, Inclinar suavemente la vasija sobre la bandeja para que caiga el agua y evitar la pérdida de finos, luego de deja secar la superficie de las partículas hasta que las partículas puedan fluir libremente.
- III) Coloque los 500 gramos de la muestra en condición de SSS en el frasco volumétrico y llénelo de agua hasta cercana a la marca de aforo, dejándolo reposar por cinco minutos.
- IV) Elimine el aire atrapado, agitando el frasco (picnómetro) volumétrico, esta operación tarda de 15 a 20 minutos.
- V) Después de eliminar el aire atrapado, agréguele agua hasta la marca de aforo. Determine el peso del picnómetro más peso de muestra y el agua añadida para completar la capacidad del picnómetro.
- VI) Retire el agua y la muestra contenida en el picnómetro, depositándolo en una tara, colocándola en el horno a temperatura de  $110 \pm 5$  °C por un periodo de 24 horas. En este tiempo se considera que la muestra fina pierde toda el agua, inclusive la que se encuentra en los poros permeables.
- VII) Transcurrido este tiempo, retire la tara del horno, refresque la muestra a temperatura ambiente y determine su peso seco.

**TESIS:** “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”

#### EQUIPO DE LABORATORIO:

- ) Balanza con capacidad de 1kg o más, y con sensibilidad de 0.1 gramos o menos.
- ) Frasco volumétrico (picnómetro) de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad, a una temperatura calibrada de 20 °C.
- ) Horno que mantenga una temperatura constante de 110 ±5 °C.
- ) Tara limpia y seca.
- ) Cocina.
- ) Bomba para desairar.

#### EXPERIMENTOS DE LABORATORIO CON MUESTRAS ESTABILIZADAS Y NO ESTABILIZADAS

El presente Tesis de investigación es del tipo experimental debido a que se manipuló de manera controlada el uso del Aceite de soya (variable independiente) en diferentes porcentajes (0%, 1%, 2%, 3% y 4% de Aceite de soya vegetal), y determinar la influencia con la adición del Aceite de soya como aditivo estabilizador (no derivado de petróleo – Aceite vegetal) de la capa de Sub Rasante (Variable dependiente), midiéndose el resultado de la estabilización a través del ensayo Capacidad de Soporte California (CBR), con material de cantera (Patapata).

#### RELACION HUMEDAD – DENSIDAD (PROCTOR MODIFICADO)

La compactación de suelos en general es el método más barato de estabilización disponible. La estabilización de suelos consiste en el mejoramiento de las propiedades físicas indeseables del suelo para obtener una estructura con resistencia al corte y relación de vacíos deseables.

Se realizó el ensayo con la muestra estabilizada del suelo, adicionando en porcentajes de Aceite de Soya en diferentes proporciones en pesos, a partir del contenido de humedad óptima obtenido con la muestra estándar.

Para la realización del ensayo con muestra no estabilizada del suelo, se seguirá el procedimiento convencional del ensayo.

#### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO (PROCTOR MODIFICADO)

##### A. MUESTRA ESTANDAR

*TESIS: “Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

- I. Se debe de tomar de 5.5 kg. del suelo seleccionado y secado al aire, pulverizado y que pase la malla No 4.
- II. Mezclar con la cantidad de agua necesaria para hacer el incremento de humedad basado en el porcentaje del peso seco, el porcentaje inicial de incremento de agua debe tener en cuenta el contenido de humedad de 4 a 5% por debajo del contenido de humedad óptimo (CHO).
- III. Pesar el molde de compactación sin incluir el collarin.
- IV. Medir el molde de compactación para determinar su volumen.
- V. Colocar el material dentro del molde de compactación, en un espesor de 1”
- VI. Compactar con el pisón aplicando 56 golpes por capa.
- VII. Repetir los pasos V y VI en un número de 5 veces.
- VIII. Retirar el collarín del molde de compactación y enrasar el material con el cilindro del molde con la ayuda de una regla metálica (enrasador).
- IX. Pesar el molde de compactación con el suelo húmedo.
- X. Extraer el cilindro de suelo del molde de compactación, y tomar dos muestras para determinar el contenido de humedad; una de ellas próxima a la parte superior del molde y la otra del centro.

#### B. MUESTRA ESTABILIZADA CON ACEITE DE SOYA

- I. Se debe de tomar de 5.5 kg. del suelo seleccionado y secado al aire, pulverizado y que pase la malla No 4.
- II. Se mezcla el aceite de soya con el suelo en diferentes proporciones, de la siguiente manera:
  - ) Pesar el aceite de soya en una proporción de 1% del peso del suelo seco.
  - ) El Porcentaje inicial de incremento del aceite debe tener en cuenta el contenido de humedad de 4 a 5% por debajo del contenido de humedad óptimo.
  - ) Mezclar cuidadosamente el suelo tamizado con aceite de soya, hasta obtener una masa homogénea.
  - ) La muestra preparada embolsada se deja durante 24 horas, para luego proceder los pasos del procedimiento para muestra estándar a partir del paso III al X.

- III. Realizar los pasos del I al III, para la proporción de aceite de soya de 3 % del peso del suelo seco.

#### EQUIPO DE LABORATORIO:

- ) Un molde de compactar proctor modificado.
- ) Un pisón de compactación.
- ) Un bandeja de aluminio
- ) Un cuchillo.
- ) Un cucharón.
- ) Una balanza.
- ) Un pocillo.
- ) Una probeta.
- ) Cápsulas para el contenido de humedad.
- ) Un cincel de punta.
- ) Estufa (horno).

#### DATOS DEL ENSAYO REALIZADO

Nº capas: 5

Golpes / capa: 56

Diámetro del cilindro Proctor: 15.24 cm.

Altura del cilindro sin collarín: 11.64 cm.

Volumen del cilindro sin collarín: 2124.0 cm<sup>3</sup>.

#### CAPACIDAD DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

El ensayo de CBR, mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo (BOWLES, 1980).

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

$$\text{CBR: (carga unitaria del ensayo / carga unitaria patrón) x 100 (\%)}$$

## PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO CAPACIDAD DE SOPORTE CALIFORNIA (CBR)

### A. MUESTRA ESTANDAR

- I. Preparar muestra y embolsar de aproximadamente 5.5 kg. del suelo seleccionado y secado al aire, pulverizado y que pase la malla No 4, al contenido de humedad óptimo del suelo determinado con el ensayo de compactación Proctor modificado.
- II. Antes de compactar el suelo en el molde, se debe de tomar una muestra representativa de la muestra preparada (embolsada) para determinar su contenido de humedad (por lo menos de 100 gr. si el suelo es de grano fino), y luego es sometido al horno a 110 °C durante 24 horas.
- III. La muestra es preparada con el contenido óptimo de agua determinado con el ensayo de compactación Proctor, se deja la muestra durante 24 horas (embolsado) para luego seguir con los protocolos del ensayo.
- IV. Pesar el molde sin collarín.
- V. Ajustar el molde a la base, insertar el disco espaciador en el molde y cubrirlo con un disco de papel de filtro.
- VI. Compactar el suelo de acuerdo con la norma ASTM D1557, luego tomar dos muestras representativas de bandeja y sobra para determinar el contenido de humedad final del remanente de la muestra de suelo.
- VII. Quitar el collarín y enrasar la muestra suavemente hasta nivelar en el molde. Llenar con suelos finos los pequeños huecos que se hayan podido formar en la operación anterior de nivelación de la muestra.
- VIII. Retirar la base y el disco espaciador, pesar el molde con el suelo compactado y determinar el peso unitario total del suelo.
- IX. Colocar un disco de papel de filtro sobre la base, invertir la muestra de forma que el espacio dejado por el disco espaciador quede en la parte superior, y asegurar el molde a la base de manera que el suelo quede en contacto con el papel de filtro.
- X. Colocar la placa perforada con el vástago ajustable sobre el suelo compactado y aplicar suficientes pesas ranuradas adicionales para obtener

**TESIS:** *“Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco”*

la sobrecarga deseada dentro de una aproximación de 2.2 kg. cuidando de que la sobrecarga total no sea inferior a 4.5 kg. Registrar la sobrecarga total, incluyendo la placa perforada como parte del peso de sobrecarga.

- XI Sumergir el molde y las pesas en un recipiente de agua de forma que el agua tenga acceso tanto a la parte superior como a la parte inferior de la muestra y procede a colocar el dial de expansión con su respectivo trípode. Marcar sobre el molde los puntos donde se apoya el soporte de forma que pueda removerse y volverse a localizar sobre el molde en el mismo sitio cuando se desee hacer una lectura.
- XII Ajustar en cero el dial de expansión y registrar el tiempo de comienzo de ensayo. Registrar las lecturas a: 24, 36, 48, 72 y 96 horas de tiempo de transcurrido. El ensayo de expansión puede concluirse a las 48 horas si las lecturas del dial de expansión se mantienen constantes por lo menos durante 24 horas.
- XIII Al final de las 96 horas de inmersión es inmediatamente se retira dial expansión y el vástago ajustable, y luego se procede colocar suficientes pesas ranuradas no menor de 4.5 kg. Sobre la muestra de suelo saturada para simular la presión de sobrecarga requerida.
- XIV Colocar la muestra saturada en un recipiente con agua en la máquina de compresión y sentar el pistón sobre la superficie de suelo utilizando una carga inicial no mayor de 4.5 kg. Fijar el cero los diales de medida de carga y de penetración.
- XV. Realizar las lecturas de deformación o penetración.
- XVI. Al final de registrar las lecturas se procede a retirar la muestra de máquina y se deja drenar por espacio de 15 minutos, secar completamente la superficie superior de la muestra con toallas de papel.
- XVII. Al final de registrar las lecturas se procede a retirar la muestra de máquina y se deja drenar por espacio de 15 minutos, secar completamente la superficie superior de la muestra con toallas de papel.
- XVIII. Pesar la muestra sumergida incluyendo el molde, paso siguiente extraer la muestra del molde y tomar dos muestras representativas (abajo y centro) adicionales para contenido de humedad.

Cabe señalar el ensayo en la máquina de compresión se ha realizado saturado (inmerso) con la finalidad poder simular la condición más crítica que se puede someter el suelo de subrasante en pavimentos.

#### B. MUESTRA ESTABILIZADA CON ACEITE DE SOYA

- I. Preparar muestra y embolsar de aproximadamente 5.5 kg. del suelo seleccionado y secado al aire, pulverizado libre de terrones y que pase la malla No 4, al contenido de humedad óptimo del suelo determinado con el ensayo de compactación Proctor modificado.
- II. Se procede tomar una muestra representativa de la muestra preparada (embolsada) para determinar su contenido de humedad (por lo menos de 100 gr. si el suelo es de grano fino), y luego es sometido al horno a 110 °C durante 24 horas, con los resultados del contenido de humedad se procede los siguientes pasos.
- III. Se mezcla el aceite de soya con el suelo en diferentes proporciones hasta lograr en contenido de humedad óptimo de proctor que se obtendrá adicionando agua más aceite de soya de la siguiente manera:
  - ) Pesar el aceite de soya en proporción a 1% del peso del suelo seco.
  - ) Mezclar cuidadosamente el suelo tamizado con aceite de soya, hasta obtener una masa homogénea.
  - ) La muestra preparada es embolsada y se deja durante 24 horas, para luego proceder con los siguientes pasos que se realizaron para muestra estándar a partir del paso IV al XVIII.
- IV. Realizar los pasos del I al IV, para las demás proporciones de aceite de soya que son del 2%, 3% y 4% del peso del suelo seco.

#### EQUIPO DE LABORATORIO:

- ) Un molde con base, collar y disco (CBR).
- ) Placa con vástago.
- ) Trípode con dial de expansión.
- ) Un pisón de compactación.
- ) Un bandeja de aluminio
- ) Un cuchillo.

- ) Un cucharón.
- ) Una balanza.
- ) Un pocillo.
- ) Una probeta.
- ) Cápsulas para el contenido de humedad
- ) Un cincel de punta.
- ) Estufa de 110 °C.

#### DATOS DEL ENSAYO REALIZADO

- ) N° capas: 5
- ) Golpes / capa: 56, 26 y 12.
- ) Diámetro del cilindro Proctor: 15.24 cm.
- ) Altura del cilindro sin collarín: 11.64 cm.

#### C. MUESTRA ESTABILIZADA CON ACEITE DE SOYA A UNA TEMPERATURA DE 70°C

- I. Preparar muestra y embolsar de aproximadamente 5.5 kg. del suelo seleccionado y previo cuarteado secado al horno a 110°C durante 24 horas, luego pulverizado libre de terrones y que pase la malla No 4.
- II. Se procede a mezcla el aceite de soya con el suelo seco en una proporción de 7.44% respecto peso de suelo seco, remplazando con el aceite de soya del contenido de humedad óptimo de proctor de la siguiente manera:
  - ) Pesar el aceite de soya en proporción a 7.44% del peso del suelo seco.
  - ) Se procede a calentar el aceite de soya puro a una temperatura de 70°C.
  - ) Mezclar cuidadosamente el suelo tamizado con aceite de soya, hasta obtener una masa homogénea.
  - ) La muestra preparada es inmediatamente compactada, terminada el ensayo de compactación la muestra se deja curar durante 92 horas al aire del ambiente con los respectivos diales de expansión.
  - ) Después de los 92 horas de curado. Se procede a la inmersión de las muestras estabilizadas durante 72 horas, para luego proceder con los siguientes pasos que se realizaron para muestra estándar a partir del paso IV al XVIII.



**EQUIPO DE LABORATORIO:**

- ) Un molde con base, collar y disco (CBR).
- ) Placa con vástago.
- ) Trípode con dial de expansión.
- ) Un pisón de compactación.
- ) Un bandeja de aluminio
- ) Un cuchillo.
- ) Un cucharón.
- ) Una balanza.
- ) Un pocillo.
- ) Una probeta.
- ) Cápsulas para el contenido de humedad
- ) Un cincel de punta.
- ) Estufa de 110 °C.
- ) Termómetro para medir la temperatura de aceite.
- ) Cocina.

**RESULTADOS ANALITICOS DE LA RECOLECCION DE DATOS**

A continuación se detallan los resultados analíticos de la fase de recolección de datos y experimentación de la tesis que son de fuente propia.

**Tesis: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"**

Realizado: Bch. Ermitanio Mamani Ojeda

Sector: Patapata

Distrito: San Jeronimo

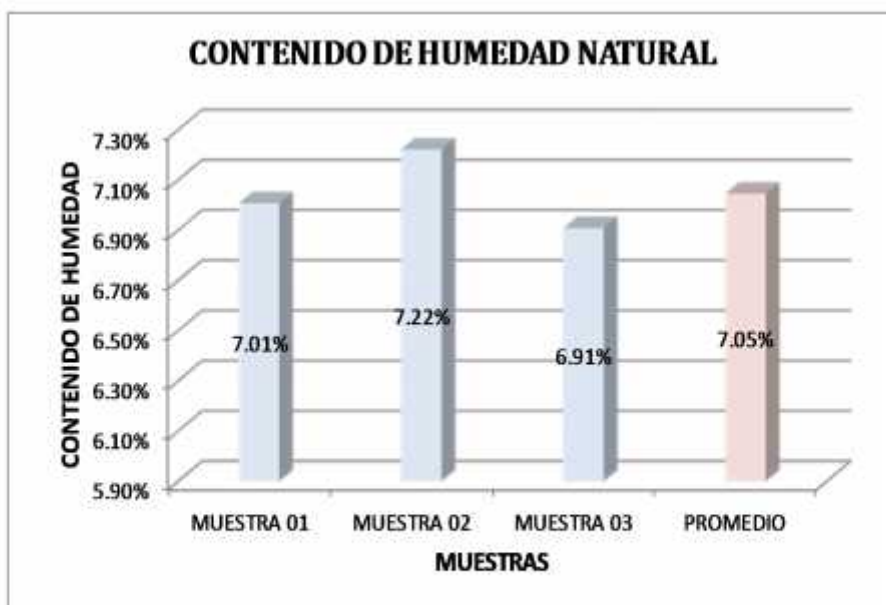
Cantera Patapata

Fecha: lunes, 22 de mayo de 2017

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	18.29	16.21	18.27
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	76.62	82.57	99.36
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	72.80	78.10	94.12
Peso del Agua (gr)	3.82	4.47	5.24
Peso de la Muestra Seca (gr)	54.51	61.89	75.85
Contenido de Humedad	7.01%	7.22%	6.91%



**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 7.05%**

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

Tesis: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

Realizado: Bch. Ermitanio Mamani Ojeda

Sector: Patapata

Distrito: San Jeronimo

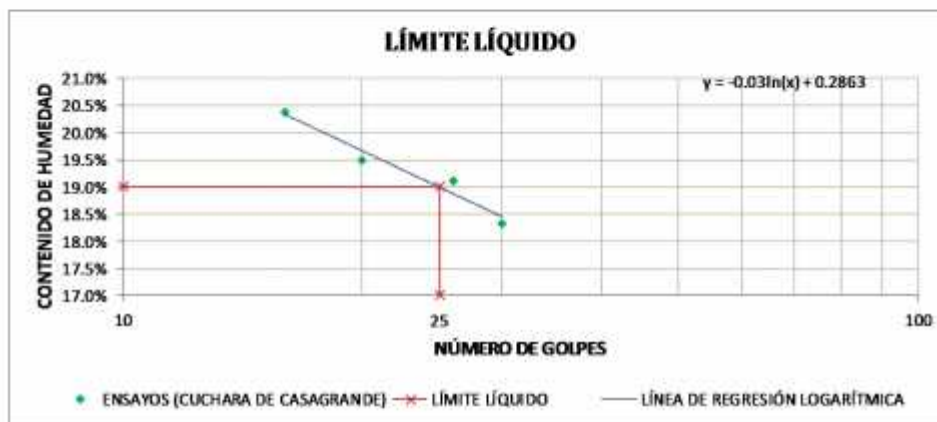
Cantera: Patapata

Fecha: lunes, 22 de mayo de 2017

### LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	15.57	18.47	14.42	11.28
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	29.13	31.68	29.56	25.04
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	27.03	29.56	27.09	22.71
Peso del Agua (gr)	2.10	2.12	2.47	2.33
Peso de la Muestra Seca (gr)	11.46	11.09	12.67	11.43
Contenido de Humedad	18.32%	19.12%	19.49%	20.38%
Número de Golpes	30	26	20	16



### LÍMITE PLÁSTICO

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	11.18	9.05	8.63
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	13.15	10.84	10.91
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	12.89	10.60	10.61
Peso del Agua (gr)	0.26	0.24	0.30
Peso de la Muestra Seca (gr)	1.71	1.55	1.98
Contenido de Humedad	15.20%	15.48%	15.15%



LÍMITE LÍQUIDO = 19.00%
LÍMITE PLÁSTICO = 15.28%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 4%

TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

Tesis: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

Realizado: Bch. Ermitanio Mamani Ojeda

Sector: Patapata

Distrito: San Jeronimo

Cantera Patapata

lunes, 22 de mayo de 2017

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

#### Antes del lavado

Peso de la Muestra Seca = 6929.00 gr

#### Después del lavado

Peso de la Muestra Seca = 4792.00 gr

% de Error en Peso = 1.11%

Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	6929.00	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	6929.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.8	0.00	6929.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	38.1	70.00	6859.00	1.01%	1.01%	98.99%
1"	25.4	578.00	6281.00	8.34%	9.35%	90.65%
¾"	19	477.00	5804.00	6.88%	16.24%	83.76%
⅜"	9.5	1085.00	4719.00	15.66%	31.89%	68.11%
Nº 4	4.76	608.00	4111.00	8.77%	40.67%	59.33%
Nº 10	2	443.00	3668.00	6.39%	47.06%	52.94%
Nº 20	0.840	234.00	3434.00	3.38%	50.44%	49.56%
Nº 40	0.425	192.00	3242.00	2.77%	53.21%	46.79%
Nº 60	0.260	647.00	2595.00	9.34%	62.55%	37.45%
Nº 140	0.106	362.00	2233.00	5.22%	67.77%	32.23%
Nº 200	0.075	35.00	2198.00	0.51%	68.28%	31.72%
Cazuela	-	8.00	-	0.12%	68.39%	-
Lavado	-	2137.00	-	31.61%	100.00%	-

Total Fracción Retenida en Lavado =

4739.00

100.00%

Gradación:

A-1

TAMIZ Nº	LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR
2" (50.8 mm)	100%	100%
1½" (38.1 mm)	100%	100%
1" (25.4 mm)	90%	100%
¾" (19 mm)	65%	100%
⅜" (9.5 mm)	45%	80%
Nº 4 (4.76 mm)	30%	65%
Nº 10 (2 mm)	22%	52%
Nº 40 (0.425 mm)	15%	35%
Nº 200 (0.075 mm)	5%	20%

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 40.67%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 27.61%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 31.72%

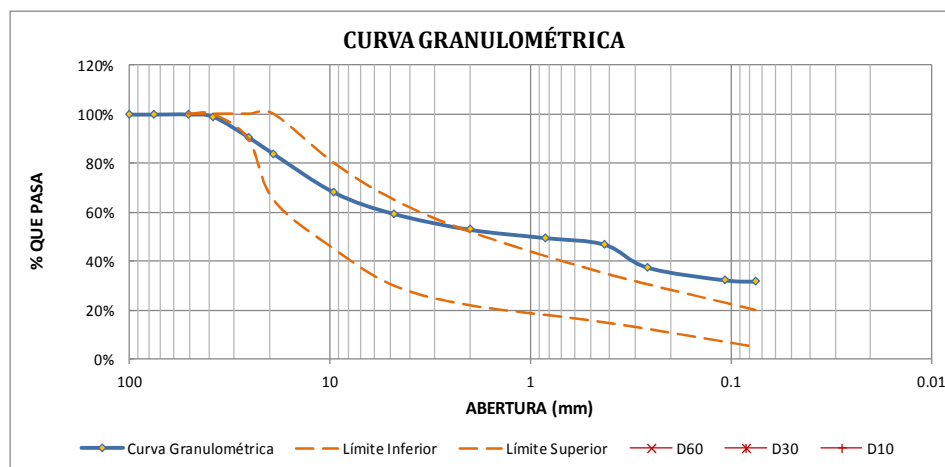
Total: 100.00%

Fracción Gruesa

% de grava = 59.56%

% de arena = 40.44%

Total = 100.00%



Tamaño Máximo Absoluto = 2"

Tamaño Máximo Nominal = 1"

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

**Tesis:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

**Realizado por:** BACH. Ermitanio Mamani Ojeda

**Ubicación:** Cantera Patapata - San Jeronimo - Cusco

**PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO**  
Según normas MTC E 205 - 2000, Basado en la Norma ASTM C-128 y AASHTO T-84

### PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO

#### A) PESO ESPECIFICO PARA PARTICULAS MENORES QUE EL TAMIZ N° 4

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Número de Picnómetro	1	1	1
Volumen del Picnómetro (ml)	250	250	250
Peso del Picnómetro (gr)	91	91	91
Peso de la Muestra Seca (gr)	44.72	42.25	43.12
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	397.37	396.03	396.36
Temperatura del Agua (°C)	17.9	17.6	18.0
Peso del Picnómetro + Agua (gr)	368.87	368.89	368.87
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	28.50	27.14	27.49
Peso del Agua Desplazada (gr)	16.22	15.11	15.63
Peso Específico a Temperatura de Ensayo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.756	2.795	2.759
Factor de corrección por Temperatura	1.0004300	1.0004800	1.0004100
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.758	2.797	2.760

### PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO

#### B) PESO ESPECIFICO PARA PARTICULAS ENTRE LOS TAMICES N°4 Y 3/4"

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de la Muestra Seca (gr)	861.80	674.73	823.10
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	883.60	692.95	843.44
Temperatura del Agua (°C)	15.0	15.0	15.0
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	541.70	425.20	521.00
Peso del Agua Desplazada (gr)	320.10	249.53	302.10
Peso Específico a Temperatura de Ensayo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.692	2.704	2.725
Factor de corrección por Temperatura	1.0009000	1.0009000	1.0009000
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.695	2.706	2.727
Capacidad de Absorción	2.53%	2.70%	2.47%

### PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO

#### C) PESO ESPECIFICO PARA PARTICULAS MAYORES AL TAMIZ 3/4"

DATOS DEL ENSAYO	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de la Muestra Seca (gr)	1658.94	1942.58	1115.88
Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (gr)	1689.05	1979.50	1136.72
Temperatura del Agua (°C)	15.0	15.0	15.0
Peso de la Muestra Sumergida (gr)	1041.20	1223.40	703.90
Peso del Agua Desplazada (gr)	617.74	719.18	411.98
Peso Específico a Temperatura de Ensayo (gr/cm <sup>3</sup> )	2.685	2.701	2.709
Factor de corrección por Temperatura	1.0009000	1.0009000	1.0009000
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.688	2.704	2.711
Capacidad de Absorción	1.82%	1.90%	1.87%

	Peso Especifico	Participación	
Particulas finas	2.772	59.33%	100.00%
Particulas medias	2.709	24.43%	
Particulas gruesas	2.701	16.24%	

GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO - PROCTOR

2.772

GRAVEDAD ESPECIFICA PARTICULAS SOBRETAMAÑO

2.701

GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO

2.745

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

Tesis: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

Realizado: Bch. Ermitiano Mamani Ojeda  
Sector: Patapata  
Distrito: San Jeronimo  
Cantera Patapata  
Fecha: 22/05/2017

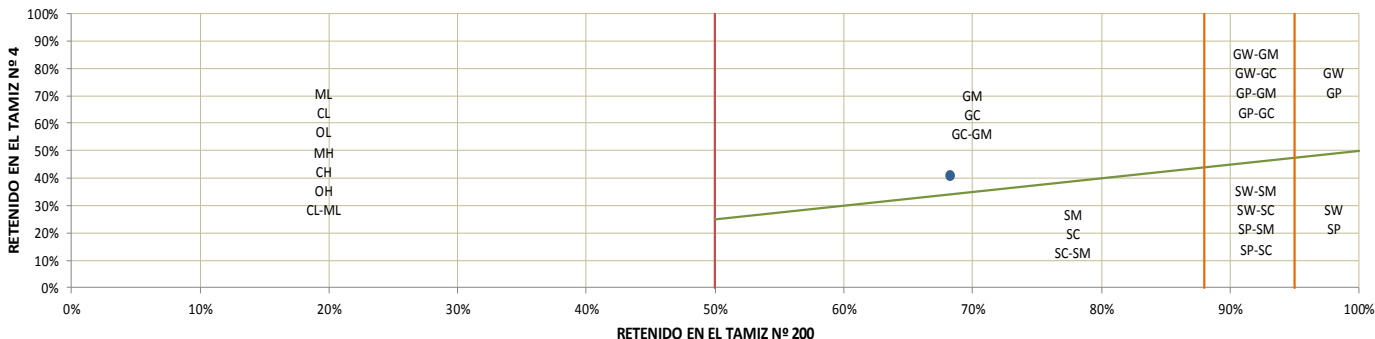
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)  
ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
<b>De Granulometría</b>	<b>GRAVAS LIMPIAS</b> Menos del 5% pasa la malla N° 200		$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW Grava bien graduada
% de Gruesos = 68.28%	<b>GRAVAS CON FINOS</b> Mas del 12% pasa la malla N° 200		$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	GP Grava mal graduada
% de Finos = 31.72%	<b>GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS</b> Entre el 5 y 12% pasa malla N° 200		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM Grava limosa
Total = 100.00%			$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC Grava arcillosa
% de Grava = 40.67%			$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM Grava limosa arcillosa
% de Arena = 27.61%			Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM Grava bien graduada con limo
Total = 68.28%			Cumple los criterios para GW y GC o para GP y GC - GM	GW - GC Grava bien graduada con arcilla
<b>Fracción Gruesa</b>			Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM Grava mal graduada con limo
% de Grava = 59.56%			Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC Grava mal graduada con arcilla
% de Arena = 40.44%				
Total = 100.00%				
<b>Coefficientes</b>	<b>ARENAS LIMPIAS</b> Menos del 5% pasa la malla N° 200		$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW Arena bien graduada
$Cu = -$	<b>ARENAS CON FINOS</b> Mas del 12% pasa la malla N° 200		$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	SP Arena mal graduada
$Cc = -$			$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM Arena limosa
			$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC Arena arcillosa
			$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM Arena limosa arcillosa
			Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM Arena bien graduada con limo
			Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC Arena bien graduada con arcilla
			Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM Arena mal graduada con limo
			Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC Arena mal graduada con arcilla
			$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML Limo de baja plasticidad
			$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL Arcilla de baja plasticidad
			$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML Arcilla limosa
			$\frac{d}{d_{60}} - \frac{d_{30}}{d_{60}} < 0.75$	OL Limo orgánico
			$\frac{d}{d_{60}} - \frac{d_{30}}{d_{60}} < 0.75$	OH Arcilla orgánica
			Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad
			Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH Arcilla de alta plasticidad
			$\frac{d}{d_{60}} - \frac{d_{30}}{d_{60}} < 0.75$	OH Limo orgánico
			$\frac{d}{d_{60}} - \frac{d_{30}}{d_{60}} < 0.75$	OH Arcilla orgánica
	<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b> Principalmente materia orgánica de color oscuro		Pt	Turba

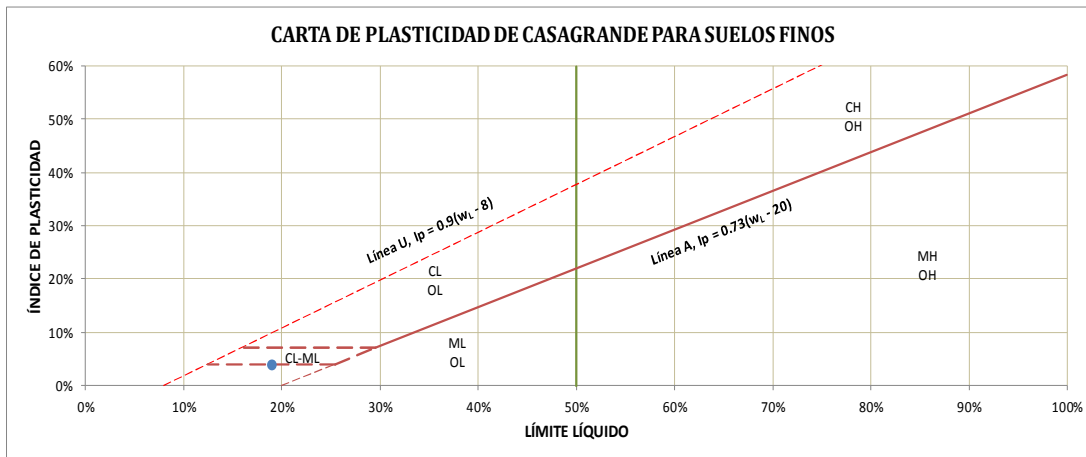
GM = Grava limosa con arena

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra

DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS



CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA SUELOS FINOS



TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

0

Tesis: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

Realizado: Bch. Ermitanio Mamani Ojeda

Sector: Patapata

Distrito: San Jeronimo

Cantera Patapata

Fecha: 23/05/2017

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN AASHTO**

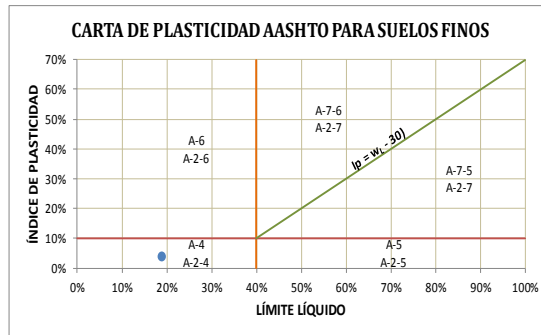
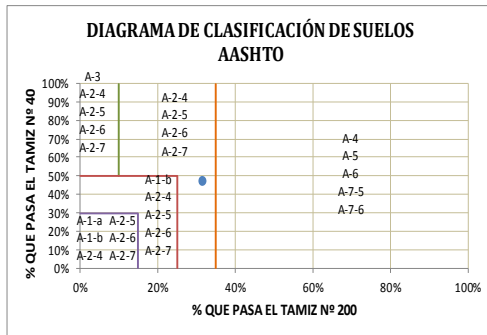
AASHTO M-145

DATOS PARA CLASIFICACIÓN		
De Granulometría	De Límites de Consistencia	Otros Datos
% que pasa el tamiz Nº 10 = 52.94%	LL = 19.00%	Tipo = Inorgánico
% que pasa el tamiz Nº 40 = 46.79%	LP = 15.28%	
% que pasa el tamiz Nº 200 = 31.72%	IP = 3.72%	

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasa el tamiz Nº 200)							MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
SUB - GRUPOS											A-7-5 A-7-6
% que pasa el tamiz: Nº 10 Nº 40 Nº 200	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz Nº 40			No Plástico								
Límite Líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Gravas, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	

A-2-4 (0) = Materiales granulares con partículas finas limosas

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la AASHTO para este tipo de suelo es: Rodillo Neumático, Liso y Vibratorio



CÁLCULO DEL ÍNDICE DE GRUPO

F = 31.72	F = Porcentaje de partículas sólidas que pasan el tamiz Nº 200
w <sub>L</sub> = 19.00	w <sub>L</sub> = Límite líquido
IP = 3.72	IP = Índice de plasticidad

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$$

a = F - 35	a = -3.28	==>	a = 0.00
b = F - 15	b = 16.72	==>	b = 16.72
c = w <sub>L</sub> - 40	c = -21.00	==>	c = 0.00
d = IP - 10	d = -6.28	==>	d = 0.00

IG = 0

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

PROCTOR MODIFICADO  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA (ESTÁNDAR)

REALIZADO POR BACH. ERMITIANO MAMANI OJEDA

CANTERA : PATAPATA

SECTOR : PATAPATA

FECHA : 21/05/2017

DISTRITO : SAN JERONIMO

DESCRIPCION DEL SUELO : MARRON OSCURO

PROVINCIA : CUSCO

HECHO POR : EMO

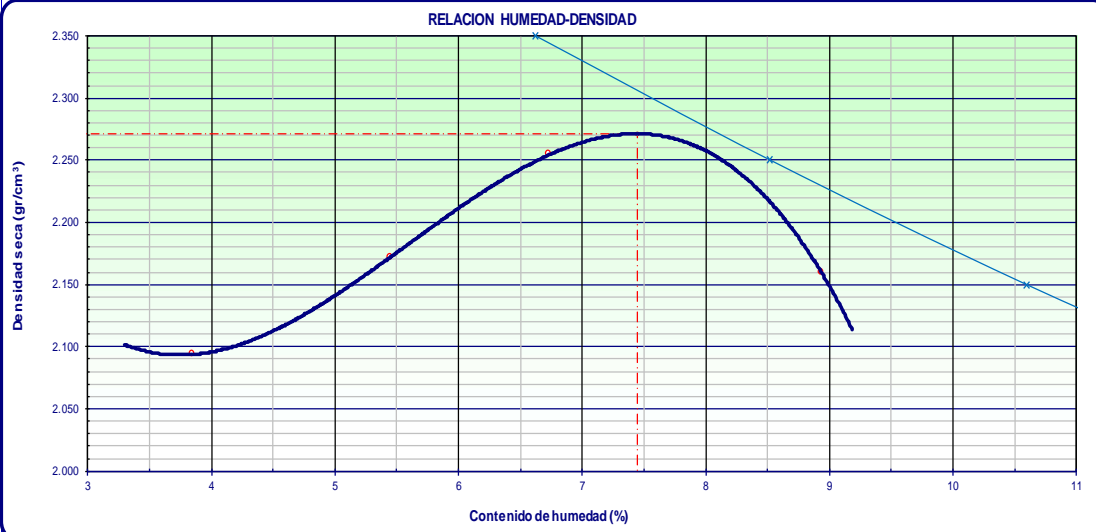
Ensayo N°		1	2	3	4	5			
Número de Capas		5	5	5	5	5			
Golpes de Pisón por Capa		56	56	56	56	56			
N° Molde		1	2	1	2	2			
Peso suelo húmedo + molde	gr	11292	11610	11786	11741				
Peso molde + base	gr	6660	6749	6660	6749				
Peso suelo húmedo compactado	gr	4632	4861	5126	4992				
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2130	2122	2130	2122				
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.174	2.290	2.406	2.352				
Peso de tara	gr	23.64	21.22	23.05	21.66	21.31	21.91	22.85	22.79
Peso del suelo húmedo+tara	gr	97.99	83.98	98.77	95.79	85.95	76.44	94.51	107.45
Peso del suelo seco + tara	gr	95.26	81.63	94.98	91.84	81.81	73.05	88.44	100.73
Peso de agua	gr	2.73	2.35	3.79	3.95	4.14	3.39	6.07	6.72
Peso del suelo seco	gr	71.62	60.41	71.93	70.18	60.50	51.14	65.59	77.94
Contenido de agua	%	3.81	3.89	5.27	5.63	6.84	6.63	9.25	8.62
Contenido de agua promedio	%	3.85		5.45		6.74		8.94	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.094		2.172		2.254		2.159	

Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>)

2.271

Humedad óptima (%)

7.44%



Gráfica de Curva cero de saturación

γ <sub>d</sub> :	2.35	2.25	2.15	2.05
W <sub>sat</sub> :	6.62	8.52	10.59	12.87

Gravedad Específica del Suelo

Ge: 2.77

Observaciones:

TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"



<b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante bio sustentable del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"									
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO									
<b>PROCTOR MODIFICADO</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180									
DATOS DE LA MUESTRA MAS 1% DE ADICION DE ACEITE DE SOYA									
<b>CONCEPTO :</b> Bach. Emilianio Mamani Ojeda					<b>CANTERA :</b> PATAPATA				
<b>SECTOR :</b> Patapata - San Jerónimo - Cusco					<b>FECHA :</b> 03/07/2017				
<b>DISTRITO :</b> San Jerónimo					<b>DESCRIPCION :</b> Suelo granoso				
<b>PROVINCIA :</b> Cusco					<b>HECHO POR :</b> E.M.O				
Metodo de ensayo		C							
Ensayo Nº		1	2	3	4				
Número de Capas		5	5	5	5				
Golpes de Pisón por Capa		56	56	56	56				
Nº Molde		2	2	2	2				
Peso suelo húmedo + molde	gr	11563	11853	11691	11638				
Peso molde + base	gr	6752	6752	6752	6752				
Peso suelo húmedo compactado	gr	4811	5101	4939	4886				
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2122	2122	2122	2122				
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.267	2.403	2.327	2.302				
Peso de Tara	gr	23.50	21.92	22.16	21.32	22.58	22.85	23.17	23.17
Peso del suelo húmedo+tara	gr	52.52	48.60	61.60	59.57	74.76	64.05	83.72	80.18
Peso del suelo seco + tara	gr	51.28	47.56	59.25	57.21	70.52	61.02	78.11	75.00
Peso de agua	gr	1.24	1.04	2.35	2.36	4.24	3.03	5.61	5.18
Peso del suelo seco	gr	27.78	25.64	37.09	35.89	47.96	38.17	54.94	51.83
Contenido de agua	%	4.46	4.06	6.34	6.58	8.84	7.94	10.21	9.99
Contenido de agua promedio	%	4.26		6.46		8.39		10.10	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.174		2.258		2.147		2.091	
					Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )		2.269		
					Humedad óptima (%)		5.78%		
RELACION HUMEDAD-DENSIDAD									
Energía de Compactación			Gráfica de Curva cero de saturación				Gravedad Específica del Suelo		
2146.43 KN-m/m <sup>3</sup>			yt:	2.35	2.25	2.15	2.05	Ge: 2.77	
			Wsat:	6.62	8.32	10.59	12.87		
Observaciones:									

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

<b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante bio sostenible del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"																					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO																					
<b>PROCTOR MODIFICADO</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180																					
<b>DATOS DE LA MUESTRA MAS 1% DE ACEITE DE SOYA</b>																					
Realizado por : Bach. Emiliano Marmón Ojeda					CANTERA : Patapala																
SECTOR : Patapala					FECHA : 30/06/2017																
DISTRITO : San Jerónimo					DESCRIPCIÓN : Suelo Matron																
PROVINCIA : CUSCO					HECHO POR : E.M.O.																
Metodo de ensayo		C																			
Ensayo N°		1	2	3	4	5															
Número de Capas		4	4	4	4	4															
Golpes de Pisón por Capa		56	56	56	56	56															
N° Molde		2	2	2	2	2															
Peso suelo húmedo + molde	gr	11662	11412	11793	11761																
Peso molde + base	gr	6713	6713	6713	6750																
Peso suelo húmedo compactado	gr	4949	4699	5080	5011																
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2122	2122	2122	2122																
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.332	2.214	2.394	2.361																
Peso de Tara	gr	23.20	22.54	22.37	20.98	21.91	21.31	22.46	22.39												
Peso del suelo húmedo+tara	gr	63.53	63.85	50.77	60.69	67.52	73.61	61.53	59.00												
Peso del suelo seco + tara	gr	61.52	61.65	49.82	59.41	64.77	69.93	58.48	56.09												
Peso de agua	gr	2.01	2.20	0.95	1.28	2.75	3.68	3.05	2.91												
Peso del suelo seco	gr	38.32	39.11	27.45	38.43	42.86	48.62	36.02	33.70												
Contenido de agua	%	5.25	5.63	3.46	3.33	6.42	7.57	8.47	8.64												
Contenido de agua promedio	%	5.44		3.40		6.99		8.55													
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.212		2.141		2.237		2.175													
								Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )													
								2.238													
								Humedad óptima (%)													
								6.84%													
<b>RELACION HUMEDAD-DENSIDAD</b>																					
Energía de Compactación			Gráfica de Curva cero de saturación				Gravedad Específica del Suelo														
2146.43 KN-m/m <sup>3</sup>			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>wt</td> <td>2.35</td> <td>2.25</td> <td>2.15</td> <td>2.05</td> </tr> <tr> <td>Wsat</td> <td>6.62</td> <td>8.52</td> <td>10.59</td> <td>12.87</td> </tr> </table>				wt	2.35	2.25	2.15	2.05	Wsat	6.62	8.52	10.59	12.87	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Ge:</td> <td>2.77</td> </tr> </table>			Ge:	2.77
wt	2.35	2.25	2.15	2.05																	
Wsat	6.62	8.52	10.59	12.87																	
Ge:	2.77																				
Observaciones: Este ensayo de proctor se realizó con adición de 1% de aceite de soya y en 4 capas de compactación.																					

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

**Tesis:** "Aprovechamiento del potencial estabilizante bio sostenible del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

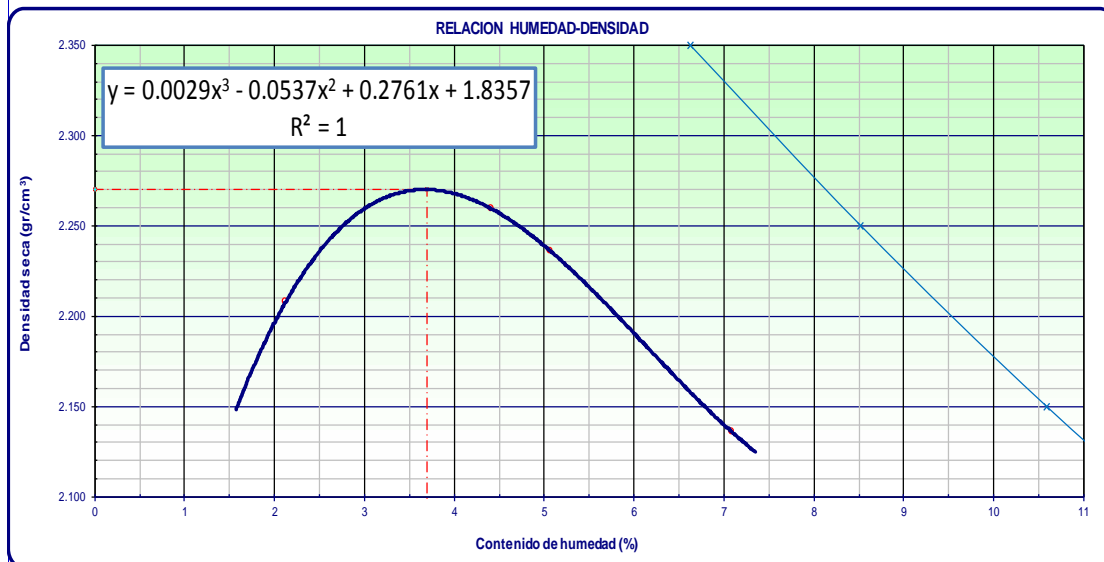
PROCTOR MODIFICADO  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA MAS 3% DE ACEITE DE SOYA

PRESENTADO PC Evaluación de material granular	CANTERA :	PATAPATA
SECTOR : Patapata	FECHA :	23/06/2017
DISTRITO : San Jeronimo	DESCRIPCION :	Suelo Marron granular
PROVINCIA : Cusco	HECHO POR :	E.M.O.

Ensayo Nº		1	2	3	4				
Número de Capas		5	5	5	5				
Golpes de Pisón por Capa		56	56	56	56				
Nº Molde		2	2	2	2				
Peso suelo húmedo + molde	gr	11484	11706	11685	11553				
Peso molde + base	gr	6699	6699	6699	6699				
Peso suelo húmedo compactado	gr	4785	5007	4986	4854				
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2122	2122	2122	2122				
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2.255	2.359	2.349	2.287				
Peso de Tara	gr	21.88	20.98	22.36	22.84	23.50	21.91	23.05	22.44
Peso del suelo húmedo+tara	gr	99.29	104.26	83.68	92.01	97.53	87.94	84.37	90.88
Peso del suelo seco + tara	gr	97.69	102.52	80.98	89.20	94.02	84.69	80.04	86.65
Peso de agua	gr	1.60	1.74	2.70	2.81	3.51	3.25	4.33	4.23
Peso del suelo seco	gr	75.81	81.54	58.62	66.36	70.52	62.78	56.99	64.21
Contenido de agua	%	2.11	2.13	4.61	4.23	4.98	5.18	7.60	6.59
Contenido de agua promedio	%	2.12		4.42		5.08		7.09	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2.208		2.259		2.236		2.136	

Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2.270
Humedad óptima (%)	3.69%



Grafica de Curva cero de saturación

$\gamma_d$ :	2.35	2.25	2.15	2.05
$W_{sat}$ :	6.62	8.52	10.59	12.87

Gravedad Especifica del Suelo

$G_e$ :	2.77
---------	------

Observaciones:

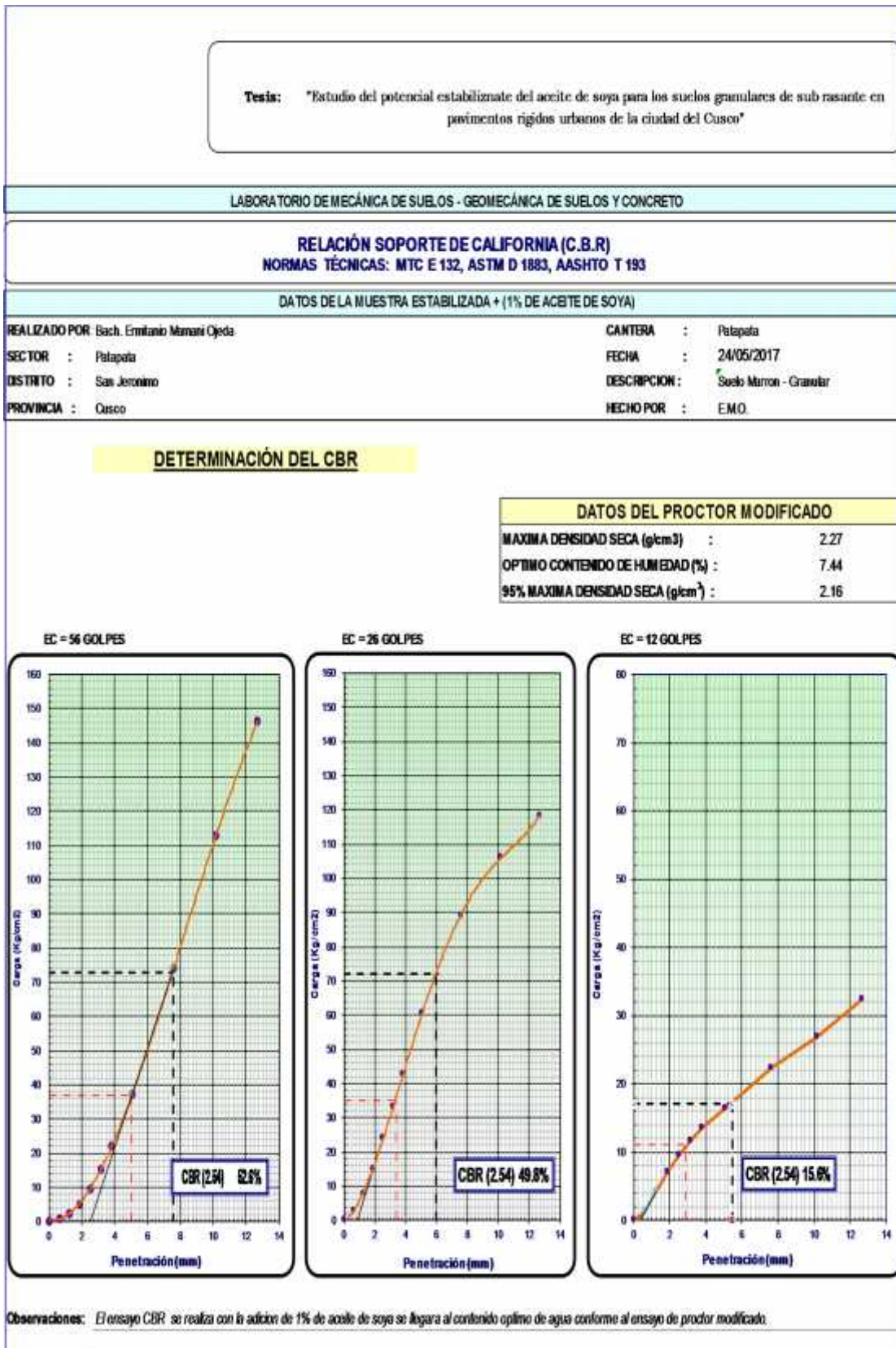
**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

<b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante bio sostenible del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"													
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> <b>NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193</b>													
DATOS DE LA MUESTRA - ESTANDAR													
REALIZADO POR : Bach. Ermitanio Mamani Ojeda						CANTERA : Patapata							
SECTOR : Patapata						FECHA : 22/05/2017							
DISTRITO : San Jeronimo						DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular							
PROVINCIA : Cusco						HECHO POR : E.M.O.							
COMPACTACIÓN													
Molde Nº	27			28			9						
Capas Nº	5			5			5						
Golpes por capa Nº	56			26			12						
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO		NO SATURADO	SATURADO					
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12838	12852		11905	12003		12035	12190					
Peso de molde (g)	7710	7710		7129	7129		7315	7315					
Peso del suelo húmedo (g)	5128	5142		4776	4874		4720	4875					
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2110	2110		2047	2047		2123	2123					
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.430</b>	<b>2.437</b>		<b>2.333</b>	<b>2.381</b>		<b>2.224</b>	<b>2.297</b>					
Peso de tara (g)	21.65	23.18		22.43	31.33		23.05	30.27					
Peso suelo húmedo + tara (g)	66.08	59.53		69.90	112.27		71.41	108.54					
Peso suelo seco + tara (g)	63.31	56.74		66.58	105.05		68.10	101.88					
Peso de agua (g)	2.77	2.79		3.32	7.22		3.31	6.66					
Peso de suelo seco (g)	41.66	33.56		44.15	73.72		45.05	71.61					
Contenido de humedad (%)	<b>6.65</b>	<b>8.31</b>		<b>7.52</b>	<b>9.79</b>		<b>7.35</b>	<b>9.30</b>					
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.28</b>	<b>2.25</b>		<b>2.17</b>	<b>2.17</b>		<b>2.07</b>	<b>2.10</b>					
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
22/05/2017	12:50	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0		
23/05/2017	17:15	24	10	0.2	0.1	4	0.1	0.0	27	0.3	0.1		
24/05/2017	18:00	48	10	0.3	0.1	4	0.1	0.1	28	0.3	0.1		
25/05/2017	18:00	72	11	0.3	0.1	5	0.1	0.1	28	0.3	0.1		
26/05/2017	18:00	96	12	0.3	0.2	5	0.1	0.1	29	0.3	0.1		
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.635		4	1.02			11	2.35			12	2.54		
1.270		15	3.11			41	8.04			35	6.90		
1.905		35	6.90			80	15.45			65	12.60		
2.540	70.31	70	13.55	41.00	58.3	121	23.23	33.00	46.9	96	18.48	23.00	32.7
3.175		110	21.14			175	33.48			124	23.80		
3.810		160	30.63			225	42.97			145	27.79		
5.080	105.46	270	51.52	83.00	78.7	322	61.39	70.00	66.4	174	33.29	35.00	33.2
7.620	133.58	490	93.28			480	91.38			207	39.56		
10.160	161.71	687	130.68			597	113.59			229	43.73		
12.700	182.80	839	159.54			668	127.07			245	46.77		
Observaciones:													

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

<b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"													
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> <b>NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193</b>													
DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (1% DE ACEITE DE SOYA)													
REALIZADO POR : Bach. Ermitanio Mamani Ojeda						CANTERA : Patapata							
SECTOR : Patapata						FECHA : 24/04/2017							
DISTRITO : San Jeronimo						DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular							
PROVINCIA : Cusco						HECHO POR : E.M.O.							
COMPACTACIÓN													
Molde Nº	10			28			25						
Capas Nº	5			5			5						
Golpes por capa Nº	56			26			12						
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12412	12448	12545	12650	12141	12252							
Peso de molde (g)	7278	7278	7601	7601	7369	7369							
Peso del suelo húmedo (g)	5134	5170	4944	5049	4772	4883							
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2120	2120	2047	2052	2117	2122							
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.422	2.438	2.415	2.461	2.254	2.301							
Peso de tara (g)	22.86	20.98	22.43	23.18	23.17	22.43							
Peso suelo húmedo + tara (g)	83.56	70.97	83.43	79.87	70.83	88.23							
Peso suelo seco + tara (g)	80.18	67.86	80.24	75.66	68.27	83.28							
Peso de agua (g)	3.38	3.11	3.19	4.21	2.56	4.95							
Peso del aceite (g)	48.48	48.48	46.85	46.85	45.16	45.16							
Peso de suelo seco (g)	57.32	46.88	57.81	52.48	45.10	60.85							
Contenido de humedad (%)	5.90	6.63	5.52	8.02	5.68	8.13							
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.265	2.265	2.267	2.257	2.113	2.108							
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
24/04/2017	17:00	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0		
25/04/2017	17:00	24	0	0.0	0.0	4	0.1	0.0	10	0.1	0.0		
26/04/2017	17:00	48	0	0.0	0.0	7	0.2	0.1	16	0.2	0.1		
27/04/2017	17:00	72	0	0.0	0.0	8	0.2	0.1	24	0.2	0.1		
28/04/2017	17:00	96	1	0.0	0.0	10	0.3	0.1	28	0.3	0.1		
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.635		4	1.02			12	2.54			5	1.21		
1.270		12	2.54			40	7.85			21	4.24		
1.905		26	5.19			77	14.88			36	7.09		
2.540	70.31	49	9.56	37.00	52.6	125	23.99	35.00	49.8	49	9.56	11.00	15.6
3.175		80	15.45			174	33.29			60	11.65		
3.810		115	22.09			224	42.78			70	13.55		
5.080	105.46	195	37.28	73.00	69.2	317	60.44	72.00	68.3	85	16.39	17.00	16.1
7.620	133.58	390	74.30			468	89.10			116	22.28		
10.160	161.71	593	112.84			558	106.19			140	26.84		
12.700	182.80	769	146.25			622	118.34			169	32.34		
Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 1% de aceite de soya se llegara al contenido optimo de agua conforme al ensayo de proctor modificado.													

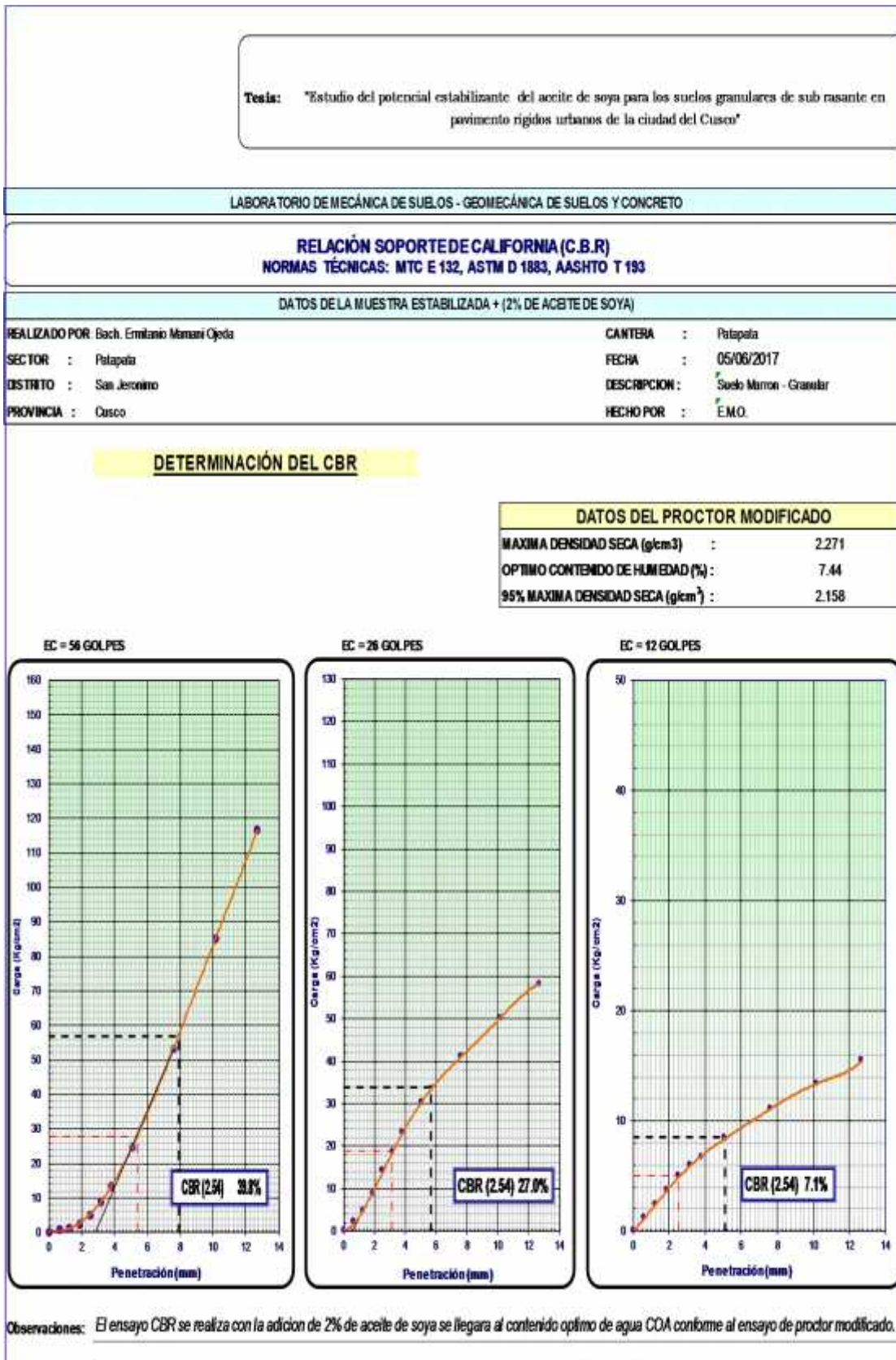
**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"



**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

<b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimento rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"													
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> <b>NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193</b>													
DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (2% DE ACEITE DE SOYA)													
REALIZADO POR : Bach. Ermitiano Mamani Ojeda						CANTERA : Patapata							
SECTOR : Patapata						FECHA : 01/06/2017							
DISTRITO : San Jeronimo						DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular							
PROVINCIA : Cusco						HECHO POR : E.M.O.							
COMPACTACIÓN													
Molde N°	27			28			10						
Capas N°	5			5			5						
Golpes por capa N°	56			26			12						
Condicion de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12749		12797		12424		12564		11904		12127		
Peso de molde (g)	7711		7711		7602		7602		7279		7279		
Peso del suelo húmedo (g)	5038		5086		4822		4962		4625		4848		
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2110		2122		2047		2063		2120		2132		
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.388		2.397		2.355		2.405		2.182		2.274		
Peso de tara (g)	22.44		23.12		23.64		21.88		27.87		21.89		
Peso suelo húmedo + tara (g)	62.38		75.02		90.52		61.25		105.13		61.13		
Peso suelo seco + tara (g)	60.65		71.85		87.24		58.47		101.88		57.88		
Peso de agua (g)	1.73		3.17		3.28		2.78		3.25		3.25		
Peso del aceite (g)	96.40		96.40		91.71		91.71		88.61		88.61		
Peso de suelo seco (g)	38.21		48.73		63.60		36.59		74.01		35.99		
Contenido de humedad (%)	4.53		6.51		5.16		7.60		4.39		9.03		
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.241		2.208		2.197		2.194		2.050		2.047		
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
01/06/2017	17:00	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0		
02/06/2017	17:00	24	20	0.5	0.3	23	0.6	0.3	59	0.6	0.3		
03/06/2017	17:00	48	22	0.6	0.3	28	0.7	0.4	64	0.6	0.3		
04/06/2017	17:00	72	26	0.7	0.3	32	0.8	0.4	66	0.7	0.3		
05/06/2017	17:00	96	26	0.7	0.3	35	0.9	0.4	69	0.7	0.3		
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.635		3	0.83			10	2.16			5	1.21		
1.270		6	1.40			23	4.62			11	2.35		
1.905		12	2.54			44	8.61			18	3.68		
2.540	70.31	25	5.00	28.00	39.8	73	14.12	19.00	27.0	25	5.00	5.00	7.1
3.175		46	8.99			97	18.67			30	5.95		
3.810		70	13.55			121	23.23			34	6.71		
5.080	105.46	130	24.94	57.00	54.0	158	30.25	34.00	32.2	43	8.42	8.50	8.1
7.620	133.58	280	53.41			215	41.07			57	11.08		
10.160	161.71	448	85.31			263	50.19			69	13.36		
12.700	182.80	613	116.63			305	58.16			80	15.45		
Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 2% de aceite de soya se llegara al contenido optimo de agua conforme al ensayo de proctor modificado.													

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

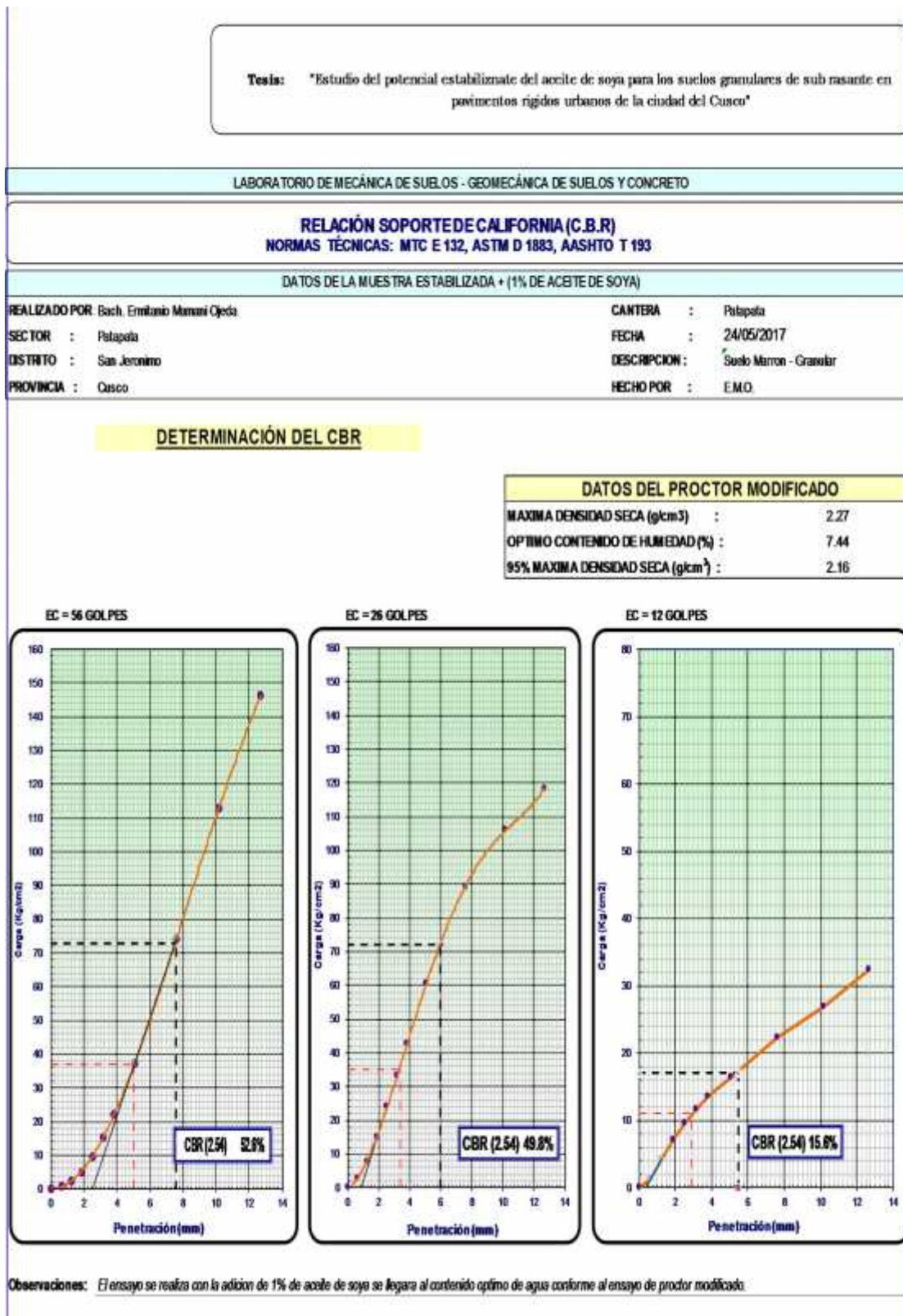


**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"



<b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimento rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"													
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO</b>													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193</b>													
<b>DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (3% DE ACEITE DE SOYA)</b>													
<b>REALIZADO POR:</b> Bach. Erimanio Mamani Ojeda				<b>CANTERA:</b> Patapata									
<b>SECTOR:</b> Patapata				<b>FECHA:</b> 29/05/2017									
<b>DISTRITO:</b> San Jeronimo				<b>DESCRIPCION:</b> Suelo Marron - Granular									
<b>PROVINCIA:</b> Cusco				<b>HECHO POR:</b> E.M.O.									
<b>COMPACTACION</b>													
Molde Nº	17			25			1						
Capas Nº	5			5			5						
Golpes por capa Nº	56			26			12						
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12062	12215	12296	12424	12472	12552							
Peso de molde (g)	7043	7043	7371	7371	7810	7810							
Peso del suelo húmedo (g)	5019	5172	4925	5053	4662	4742							
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2114	2136	2117	2140	2109	2125							
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.374	2.421	2.326	2.361	2.211	2.231							
Peso de tara (g)	23.18	21.73	23.17	23.21	21.56	23.50							
Peso suelo húmedo + tara (g)	67.74	52.94	78.09	65.76	54.86	59.48							
Peso suelo seco + tara (g)	65.65	51.15	75.85	63.28	53.27	57.05							
Peso de agua (g)	2.09	1.79	2.24	2.48	1.59	2.43							
Peso del aceite (g)	143.51	143.51	141.72	141.72	133.18	133.18							
Peso de suelo seco (g)	42.47	29.42	52.68	40.07	31.71	33.55							
Contenido de humedad (%)	4.92	6.08	4.25	6.19	5.01	7.24							
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.198	2.219	2.167	2.161	2.045	2.022							
<b>EXPANSION</b>													
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>		<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>		<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>			
				mm	%		mm	%		mm	%		
29/05/2017	17:00	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	20	0.0	0.0		
30/05/2017	17:00	24	13	0.3	0.2	10	0.3	0.1	73	0.7	0.4		
31/05/2017	17:00	48	28	0.7	0.4	24	0.6	0.3	85	0.9	0.4		
01/06/2017	17:00	72	37	0.9	0.5	39	1.0	0.5	91	0.9	0.4		
02/06/2017	17:00	96	48	1.2	0.6	50	1.3	0.6	91	0.9	0.4		
<b>PENETRACION</b>													
<b>PENETRACION</b> mm	<b>CARGA STAND.</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>MOLDE Nº</b>				<b>MOLDE Nº</b>				<b>MOLDE Nº</b>			
		<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>		<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>		<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>	
		Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.635		6	1.40			5	1.21			5	1.21		
1.270		15	3.11			15	3.11			12	2.54		
1.905		33	6.52			37	7.28			20	4.06		
2.540	70.31	57	11.08	22.00	31.3	64	12.41	20.00	28.4	28	5.57	5.50	7.8
3.175		85	16.39			93	17.91			35	6.90		
3.810		115	22.09			122	23.42			41	8.04		
5.080	105.46	179	34.24	46.00	43.6	165	31.58	38.00	36.0	52	10.13	10.00	9.5
7.620	133.58	292	55.69			241	46.01			73	14.12		
10.160	161.71	385	73.35			315	60.06			87	16.77		
12.700	182.80	461	87.78			380	72.40			102	19.62		
Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 3% de aceite de soya se llegara al contenido optimo de agua COA conforme al ensayo de proctor modificado.													

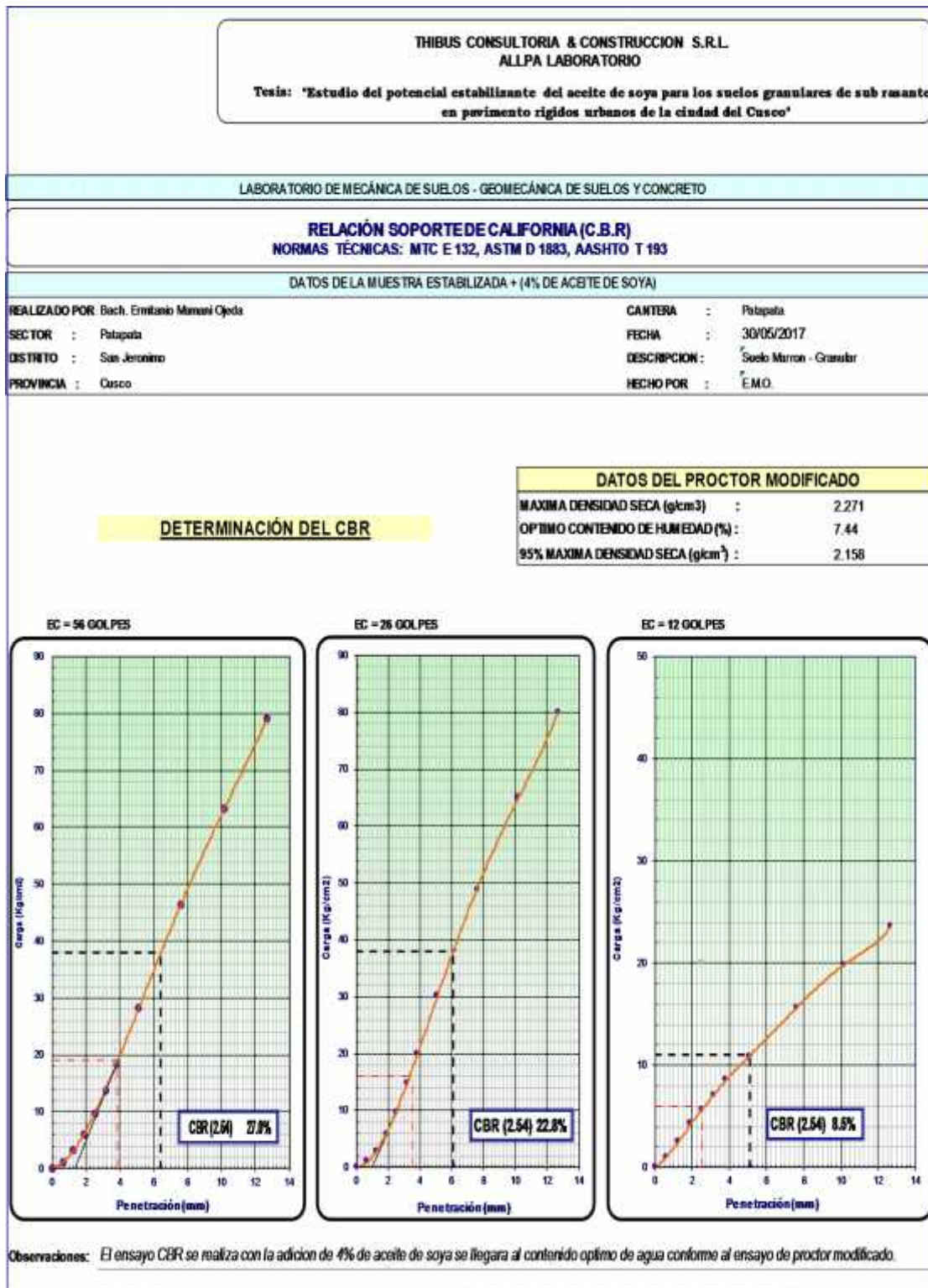
**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"



*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

<b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimento rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"													
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO</b>													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> <b>NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193</b>													
<b>DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (4% DE ACEITE DE SOYA)</b>													
<b>REALIZADO POR:</b> Bach. Ermitanio Mamani Ojeda				<b>CANTERA:</b> Patapata									
<b>SECTOR:</b> Patapata				<b>FECHA:</b> 26/05/2017									
<b>DISTRITO:</b> San Jeronimo				<b>DESCRIPCION:</b> Suelo Marron - Granular									
<b>PROVINCIA:</b> Cusco				<b>HECHO POR:</b> E.M.O.									
<b>COMPACTACION</b>													
Molde N°	1				9				28				
Capas N°	5				5				5				
Golpes por capa N°	56				26				12				
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12845	12920	12276	12341	11754	11880							
Peso de molde (g)	7810	7810	7315	7315	7129	7129							
Peso del suelo húmedo (g)	5035	5110	4961	5026	4625	4751							
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2109	2127	2123	2137	2047	2064							
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.388	2.403	2.337	2.352	2.259	2.302							
Peso de tara (g)	21.56	22.55	21.91	21.89	21.65	21.89							
Peso suelo húmedo + tara (g)	88.66	74.78	83.67	61.14	67.70	67.72							
Peso suelo seco + tara (g)	86.51	72.89	81.27	59.31	66.30	64.89							
Peso de agua (g)	2.15	1.89	2.40	1.83	1.40	2.83							
Peso del aceite (g)	194.95	194.95	190.73	190.73	179.38	179.38							
Peso de suelo seco (g)	64.95	50.34	59.36	37.42	44.65	43.00							
Contenido de humedad (%)	3.31	3.75	4.04	4.89	3.14	6.58							
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.222	2.228	2.160	2.157	2.105	2.078							
<b>EXPANSION</b>													
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>		<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>		<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>			
				mm	%		mm	%		mm	%		
26/05/2017	17:00	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0		
27/05/2017	17:00	24	15	0.4	0.2	10	0.3	0.1	40	0.4	0.2		
28/05/2017	17:00	48	25	0.6	0.3	19	0.5	0.2	68	0.7	0.3		
29/05/2017	17:00	72	33	0.8	0.4	25	0.6	0.3	82	0.8	0.4		
30/05/2017	17:00	96	39	1.0	0.5	31	0.8	0.4	91	0.9	0.4		
<b>PENETRACION</b>													
<b>PENETRACION</b> mm	<b>CARGA STAND.</b> kg/cm <sup>2</sup>	<b>MOLDE N°</b>				<b>MOLDE N°</b>				<b>MOLDE N°</b>			
		<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>		<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>		<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>	
		Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.635		5	1.21			4	1.02			4	1.02		
1.270		16	3.30			13	2.73			12	2.54		
1.905		31	6.14			29	5.76			21	4.24		
2.540	70.31	50	9.75	19.00	27.0	50	9.75	16.00	22.8	28	5.57	6.00	8.5
3.175		71	13.74			77	14.88			36	7.09		
3.810		96	18.48			104	20.00			44	8.61		
5.080	105.46	147	28.17	38.00	36.0	157	30.06	38.00	36.0	56	10.89	11.00	10.4
7.620	133.58	243	46.39			255	48.67			81	15.64		
10.160	161.71	332	63.29			341	64.99			103	19.81		
12.700	182.80	415	79.04			420	79.99			123	23.61		
Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 4% de aceite de soya se llegara al contenido optimo de agua conforme al ensayo de proctor modificado.													

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"



*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO														
RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193														
DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (1% DE ACEITE DE SOYA SOBRE COA DEL PROCTOR M.)														
REALIZADO POR : Bach. Ermitiano Mamani Ojeda			CANTERA : Patapata			FECHA : 12/06/2017			DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular			HECHO POR : E.M.O.		
SECTOR : Patapata			DISTRITO : San Jeronimo			PROVINCIA : Cusco								
COMPACTACIÓN														
Molde Nº	10				28				25					
Capas Nº	5				5				5					
Golpes por capa Nº	56				26				12					
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO			
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12082	12115	12831	12860	12416	12532								
Peso de molde (g)	7045	7045	7812	7812	7602	7602								
Peso del suelo húmedo (g)	5037	5070	5019	5048	4814	4930								
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2120	2125	2047	2058	2117	2120								
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.376	2.385	2.452	2.453	2.274	2.326								
Peso de tara (g)	21.56	22.90	21.92	23.17	21.31	23.17								
Peso suelo húmedo + tara (g)	77.27	64.71	101.34	84.99	76.29	74.36								
Peso suelo seco + tara (g)	73.37	61.71	96.69	80.38	73.11	70.52								
Peso de agua (g)	3.90	3.00	4.65	4.61	3.18	3.84								
Peso del aceite (g)	46.84	46.84	47.25	47.25	45.36	45.36								
Peso de suelo seco (g)	51.81	38.81	74.77	57.21	51.80	47.35								
Contenido de humedad (%)	7.53	7.73	6.22	8.06	6.14	8.11								
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.189	2.194	2.286	2.249	2.122	2.131								
EXPANSION														
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION				
				mm	%		mm	%		mm	%			
12/06/2017	17:00	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0			
13/06/2017	17:00	24	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	12	0.1	0.1			
14/06/2017	17:00	48	7	0.2	0.1	21	0.5	0.3	13	0.1	0.1			
15/06/2017	17:00	72	12	0.3	0.2	22	0.6	0.3	15	0.2	0.1			
16/06/2017	17:00	96	12	0.3	0.2	23	0.6	0.3	16	0.2	0.1			
PENETRACION														
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº				
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00			
0.635		3	0.83			6	1.40			11	2.35			
1.270		5	1.21			10	2.16			35	6.90			
1.905		12	2.54			16	3.30			62	12.03			
2.540	70.31	20	4.06	10.50	14.9	24	4.81	6.00	8.5	88	16.96	19.00	27.0	
3.175		28	5.57			32	6.33			108	20.76			
3.810		40	7.85			43	8.42			125	23.99			
5.080	105.46	68	13.17	22.00	20.9	64	12.41	14.00	13.3	152	29.11	30.00	28.4	
7.620	133.58	128	24.56			102	19.62			192	36.71			
10.160	161.71	193	36.90			140	26.84			221	42.21			
12.700	182.80	262	50.00			175	33.48			245	46.77			
Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 1% de aceite de soya sobre el contenido óptimo de agua COA conforme al ensayo de proctor modificado.														

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

**Tesis:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimento rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (1% DE ACEITE DE SOYA SOBRE COA DEL PROCTOR)

REALIZADO POR: Bach. Erceliano Mamani Queda

CANTERA : Patapata

SECTOR : Patapata

FECHA : 16/06/2017

DISTRITO : San Jeronimo

DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular

PROVINCIA : Cusco

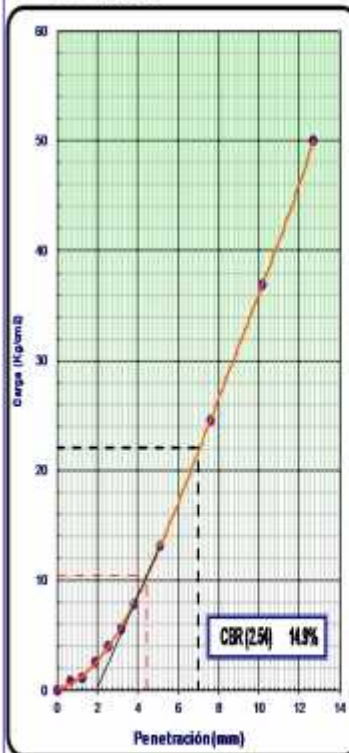
HECHO POR : E.M.O.

**DETERMINACIÓN DEL CBR**

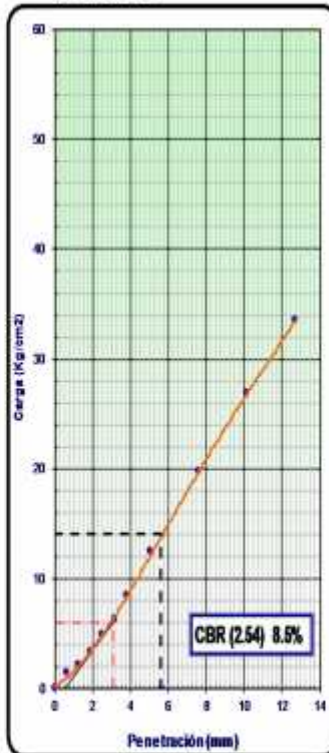
**DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO**

MAXIMA DENSIDAD SECA ( $g/cm^3$ ) :	2.27
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	7.44
95% MAXIMA DENSIDAD SECA ( $g/cm^3$ ) :	2.16

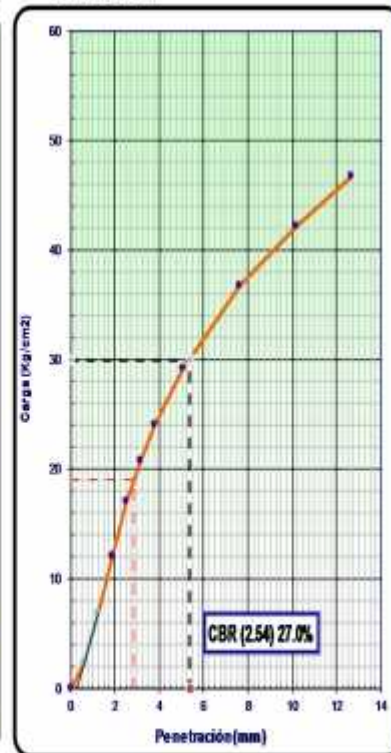
EC = 56 GOLPES



EC = 26 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 1% de aceite de soya sobre el contenido óptimo de agua COA conforme al ensayo de proctor modificado.

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

<p style="text-align: center;"><b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimento rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"</p>													
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO													
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193													
DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (2% DE ACEITE DE SOYA SOBRE COA DEL PROCTOR M.)													
REALIZADO POR : Bach. Ermitanio Mamani Ojeda						CANTERA : Patapata							
SECTOR : Patapata						FECHA : 11/06/2017							
DISTRITO : San Jeronimo						DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular							
PROVINCIA : Cusco						HECHO POR : E.M.O.							
COMPACTACION													
Molde N°	10				28				25				
Capas N°	5				5				5				
Golpes por capa N°	56				26				12				
Condición de la muestra	NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		NO SATURADO		SATURADO		
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12204	12223	12299	12309	11845	11880							
Peso de molde (g)	7225	7225	7319	7319	7131	7131							
Peso del suelo húmedo (g)	4979	4998	4980	4990	4714	4749							
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2120	2136	2047	2058	2117	2119							
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.349	2.340	2.432	2.425	2.227	2.242							
Peso de tara (g)	23.17	23.05	22.90	21.91	23.28	23.28							
Peso suelo húmedo + tara (g)	85.80	88.25	75.20	76.09	85.33	72.14							
Peso suelo seco + tara (g)	81.33	83.69	71.94	72.36	81.11	68.38							
Peso de agua (g)	4.47	4.56	3.26	3.73	4.22	3.76							
Peso del aceite (g)	92.47	92.47	93.39	93.39	87.87	87.87							
Peso de suelo seco (g)	58.16	60.64	49.04	50.45	57.83	45.10							
Contenido de humedad (%)	7.69	7.52	6.65	7.39	7.30	8.34							
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.141	2.136	2.238	2.216	2.037	2.031							
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
11/06/2017	17:00	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0		
12/06/2017	17:00	24	8	0.2	0.1	8	0.2	0.1	0	0.0	0.0		
13/06/2017	17:00	48	33	0.8	0.4	16	0.4	0.2	8	0.1	0.0		
14/06/2017	17:00	72	34	0.9	0.4	23	0.6	0.3	9	0.1	0.0		
15/06/2017	17:00	96	34	0.9	0.4	23	0.6	0.3	9	0.1	0.0		
PENETRACION													
PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.635		2	0.64			1	0.45			4	1.02		
1.270		6	1.40			5	1.21			14	2.92		
1.905		11	2.35			9	1.97			28	5.57		
2.540	70.31	20	4.06	11.00	15.6	14	2.92	6.50	9.2	42	8.23	11.50	16.4
3.175		29	5.76			21	4.24			63	12.22		
3.810		38	7.47			28	5.57			80	15.45		
5.080	105.46	67	12.98	21.50	20.4	45	8.80	14.00	13.3	115	22.09	25.00	23.7
7.620	133.58	122	23.42			89	17.15			176	33.67		
10.160	161.71	177	33.86			133	25.51			227	43.35		
12.700	182.80	235	44.87			175	33.48			275	52.47		
Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 2% de aceite de soya sobre el contenido óptimo de agua COA conforme al ensayo de proctor modificado.													

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

**Tesis:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimento rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

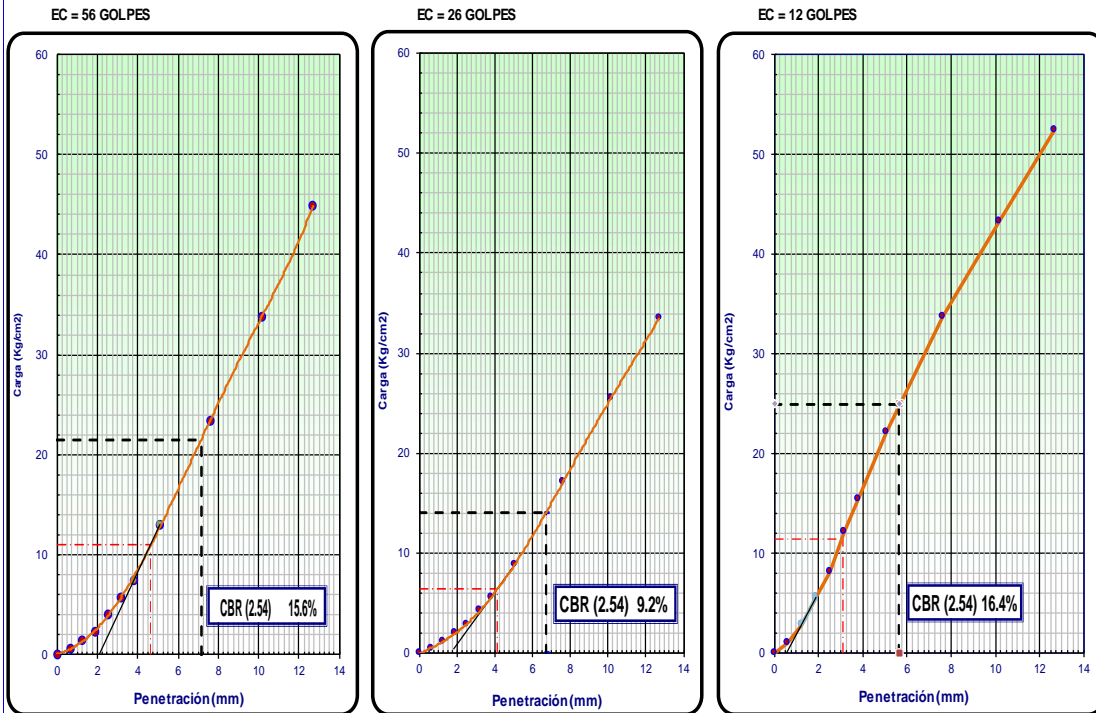
DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (2% DE ACEITE DE SOYA SOBRE COA DEL PROCTOR M.)

REALIZADO POR : Bach. Ermitiano Mamani Ojeda	CANERA : Patapata
SECTOR : Patapata	FECHA : 15/06/2017
DISTRITO : San Jeronimo	DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular
PROVINCIA : Cusco	HECHO POR : E.M.O.

**DETERMINACIÓN DEL CBR**

**DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO**

MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.27
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	7.44
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.16



Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 2% de aceite de soya sobre el contenido optimo de agua COA conforme al ensayo de proctor modificado.

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"



**Tesis:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimento rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (3% DE ACEITE DE SOYA SOBRE COA DEL PROCTOR M.)

REALIZADO POR : Bach. Ermitiano Mamani Ojeda  
SECTOR : Patapata  
DISTRITO : San Jeronimo  
PROVINCIA : Cusco  
CANTERA : Patapata  
FECHA : 13/06/2017  
DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular  
HECHO POR : E.M.O.

COMPACTACIÓN

Molde Nº	10		28		25	
	5		5		5	
Capas Nº	56		26		12	
Golpes por capa Nº	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12230	12244	12697	12711	12232	12291
Peso de molde (g)	7280	7280	7710	7710	7370	7370
Peso del suelo húmedo (g)	4950	4964	4987	5001	4862	4921
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2120	2118	2047	2045	2117	2112
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.335	2.344	2.436	2.445	2.297	2.330
Peso de tara (g)	27.88	21.70	27.79	22.37	30.86	21.91
Peso suelo húmedo + tara (g)	104.00	57.57	105.31	88.65	97.84	103.70
Peso suelo seco + tara (g)	98.70	55.03	100.75	84.58	93.76	98.26
Peso de agua (g)	5.30	2.54	4.56	4.07	4.08	5.44
Peso del aceite (g)	138.16	138.16	140.81	140.81	136.98	136.98
Peso de suelo seco (g)	70.82	33.33	72.96	62.21	62.90	76.35
Contenido de humedad (%)	7.48	7.62	6.25	6.54	6.49	7.13
Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.112	2.117	2.228	2.231	2.096	2.115

CONTRACCIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
13/06/2017	17:00	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
14/06/2017	17:00	24	3	0.1	0.0	5	0.1	0.1	8	0.2	0.1
15/06/2017	17:00	48	3	0.1	0.0	5	0.1	0.1	11	0.3	0.1
16/06/2017	17:00	72	3	0.1	0.0	5	0.1	0.1	11	0.3	0.1
17/06/2017	17:00	96	4	0.1	0.1	5	0.1	0.1	11	0.3	0.1

PENETRACION

PENETRACION mm	CARGA STAND. kg/cm <sup>2</sup>	MOLDE Nº				MOLDE Nº				MOLDE Nº			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%
0.000		0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.635		3	0.83			3	0.83			10	2.16		
1.270		6	1.40			6	1.40			31	6.14		
1.905		12	2.54			15	3.11			54	10.51		
2.540	70.31	19	3.87	6.50	9.2	25	5.00	8.50	12.1	82	15.83	17.00	24.2
3.175		26	5.19			36	7.09			98	18.86		
3.810		34	6.71			50	9.75			116	22.28		
5.080	105.46	52	10.13	12.30	11.7	82	15.83	19.50	18.5	149	28.54	30.00	28.4
7.620	133.58	88	16.96			140	26.84			200	38.23		
10.160	161.71	121	23.23			202	38.61			242	46.20		
12.700	182.80	155	29.68			260	49.62			272	51.90		

Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 3% de aceite de soya sobre el contenido óptimo de agua COA conforme al ensayo de proctor modificado.

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

**Tesis:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimento rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA ESTABILIZADA + (3% DE ACEITE DE SOYA SOBRE COA DEL PROCTOR M.)

REALIZADO POR: Bach. Ermitiano Mamani Ojeda

CANTERA : Patapata

SECTOR : Patapata

FECHA : 17/06/2017

DISTRITO : San Jeronimo

DESCRIPCION : Suelo Marron - Granular

PROVINCIA : Cusco

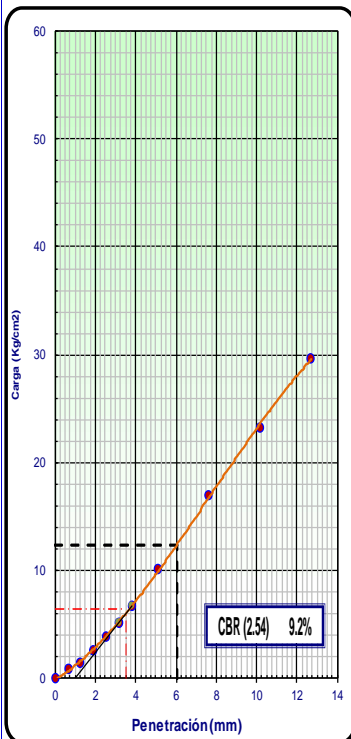
HECHO POR : E.M.O.

**DETERMINACIÓN DEL CBR**

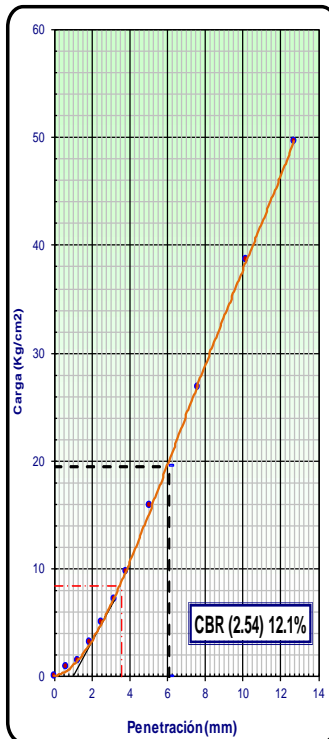
**DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO**

MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.27
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	7.44
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.16

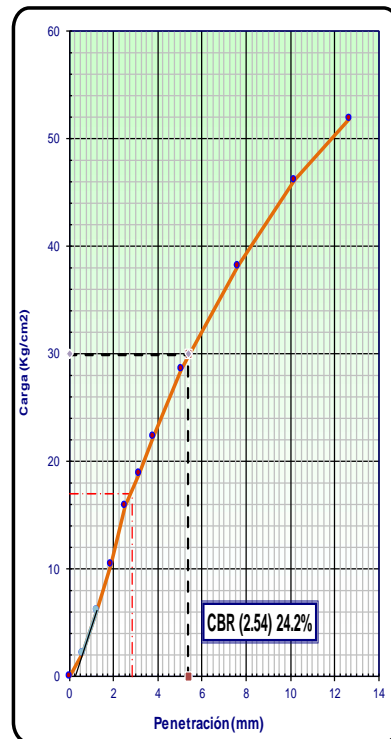
EC = 56 GOLPES



EC = 26 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones: El ensayo CBR se realiza con la adición de 3% de aceite de soya sobre el contenido optimo de agua COA conforme al ensayo de proctor modificado.

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

<b>Tesis:</b> "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"														
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO</b>														
<b>RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)</b> <b>NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193</b>														
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>														
<b>PRESENTADO POR:</b> BACH. Ermitario Marnani Ojeda						<b>MUESTRA :</b> 1								
<b>SECTOR :</b> Patapata						<b>FECHA :</b> 02/09/2017								
<b>DISTRITO :</b> San Jeronimo						<b>PROFUNDIDAD :</b> -								
<b>PROVINCIA :</b> Cusco						<b>HECHO POR :</b> E.M.O.								
<b>COMPACTACIÓN</b>														
<b>Molde Nº</b>			<b>1</b>			<b>9</b>			<b>17</b>					
<b>Capas Nº</b>			<b>5</b>			<b>5</b>			<b>5</b>					
<b>Golpes por capa Nº</b>			<b>56</b>			<b>26</b>			<b>12</b>					
<b>Condición de la muestra</b>			<b>NO SATURADO</b>		<b>SATURADO</b>		<b>NO SATURADO</b>		<b>SATURADO</b>		<b>NO SATURADO</b>		<b>SATURADO</b>	
<b>Peso de molde + Suelo húmedo (g)</b>			12642		12744		12075		12182		11609		11811	
<b>Peso de molde (g)</b>			7747		7747		7317		7317		7045		7045	
<b>Peso del suelo húmedo (g)</b>			4895		4997		4758		4865		4564		4766	
<b>Volumen del molde (cm<sup>3</sup>)</b>			2109		2114		2123		2130		2114		2118	
<b>Densidad húmeda (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.321</b>		<b>2.364</b>		<b>2.242</b>		<b>2.284</b>		<b>2.159</b>		<b>2.250</b>	
<b>Peso de tara (g)</b>			21.33		21.67		23.05		22.51		21.73		22.90	
<b>Peso suelo húmedo + tara (g)</b>			87.56		98.40		88.17		87.16		75.10		78.82	
<b>Peso suelo seco + tara (g)</b>			87.48		94.33		88.09		82.07		75.04		77.99	
<b>Peso de agua (g)</b>			0.08		4.07		0.08		5.09		0.06		0.83	
<b>Peso del aceite (g)</b>			48.89		48.89		47.52		47.52		45.59		45.59	
<b>Peso de suelo seco (g)</b>			66.15		72.66		65.04		59.56		53.31		55.09	
<b>Contenido de humedad (%)</b>			<b>0.12</b>		<b>5.60</b>		<b>0.12</b>		<b>8.55</b>		<b>0.11</b>		<b>1.51</b>	
<b>Densidad seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.295</b>		<b>2.217</b>		<b>2.216</b>		<b>2.084</b>		<b>2.135</b>		<b>2.195</b>	
<b>EXPANSION</b>														
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>		<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>		<b>DIAL</b>	<b>EXPANSION</b>				
				<b>mm</b>	<b>%</b>		<b>mm</b>	<b>%</b>		<b>mm</b>	<b>%</b>			
02/09/2017	17:00	0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0			
03/09/2017	17:00	24	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0			
04/09/2017	17:00	48	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0			
05/09/2017	17:00	72	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0			
06/09/2017	17:00	96	11	0.3	0.1	16	0.4	0.2	22	0.2	0.1			
<b>PENETRACION</b>														
<b>PENETRACION</b>		<b>CARGA STAND.</b> kg/cm2	<b>MOLDE Nº</b>				<b>MOLDE Nº</b>				<b>MOLDE Nº</b>			
<b>mm</b>			<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>		<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>		<b>CARGA</b>		<b>CORRECCION</b>	
			<b>Dial (div)</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>%</b>	<b>Dial (div)</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>%</b>	<b>Dial (div)</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>%</b>
0.000			0	0.00			0	0.00			0	0.00		
0.635			7	1.59			10	2.16			5	1.21		
1.270			35	6.90			38	7.47			30	5.95		
1.905			59	11.46			81	15.64			58	11.27		
2.540		70.31	88	16.87	44.00	62.6	135	25.89	37.00	52.6	82	15.83	19.00	27.0
3.175			120	23.04			174	33.29			105	20.19		
3.810			150	28.73			225	42.97			124	23.80		
5.080		105.46	250	47.72	89.00	84.4	304	57.97	72.00	68.3	157	30.06	32.00	30.3
7.620		133.58	480	91.38			478	91.00			235	44.87		
10.160		161.71	770	146.44			590	112.27			300	57.21		
12.700		182.80	1050	199.59			719	136.76			354	67.46		
Observaciones:														
<b>Elaborado por:</b>				<b>Revisado por:</b>				<b>Vº Bº</b>						
Nombre / Función:			D:	Nombre / Función:			D:	Nombre / Función:			D:			
Firma:			M:	Firma:			M:	Firma:			M:			
			A:				A:				A:			

**TESIS:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

**Tesis:** "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO

**RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)**  
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

PRESENTADO POR BACH. Emiliano Marmón Ojeda SECTOR : Patapata DISTRITO : San Jerónimo PROVINCIA : Cusco	MUESTRA : 1 FECHA : 09/09/2017 PROFUNDIDAD : " HECHO POR : E.M.O.
---	--

**DETERMINACIÓN DEL CBR**

**DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO**

MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.27
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	7.44
95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> ) :	2.16

EC = 56 GOLPES

Penetración (mm)

EC = 26 GOLPES

Penetración (mm)

EC = 12 GOLPES

Penetración (mm)

Observaciones: \_\_\_\_\_

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*

---

## ANEXO B: PANEL FOTOGRÁFICO

---

## ANEXO B.

## PANEL FOTOGRAFICO.



**Imagen 01:** se aprecia la ubicación de la cantera Patapata (Zona: 19 L E= 187664,00 – N=8501228,00 S)



**Imagen 02:** Se aprecia la recolección de la muestra alterada en cantera.  
Fecha: 15/05/2017



**Imagen 03:** Se aprecia trabajos de cuarteo de muestra: F. 16/05/2017.



**Imagen 04:** Se apreciamos trabajos de ensayo granulométrico.



**Imagen 05:** Se observa la clasificación granulométrica de la muestra del suelo.



**Imagen 06:** Se observa el control de peso del aceite de soya.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*



**Imagen 07:** Se aprecia ensayo de límite plástico. Fecha 18/05/2017.



**Imagen 08:** Juego de Tamiz.



**Imagen 09:** Se muestra los ensayos límites de consistencia. Fecha 18/05/17



**Imagen 10:** Se aprecia muestra del ensayo de peso específico (media).



**Imagen 11:** Se aprecia el ensayo de peso específico de partículas finas.



**Imagen 12:** Muestra del peso específico de partículas finas.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soya para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*



**Imagen 13:** Compactación de la muestra estándar de proctor modificado.  
Fecha: 19/05/2017.



**Imagen 14:** Muestra compactada de proctor modificado.



**Imagen 15:** Se aprecia la preparación de la muestra estabilizada con aceite de soja (CBR).  
Fecha: 24/05/2017.



**Imagen 16:** muestras en capsula sometido al horno para hallar el contenido de humedad.



**Imagen 17:** Se aprecia muestra estabilizada después del ensayo de penetración CBR. Y se toma el peso. Fecha: 02/06/2017.



**Imagen 18:** muestras estabilizada previa A la inmersión CBR.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soja para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*





**Imagen 19:** Se aprecia que la muestra inmersa estabilizada ha ido expulsando el aceite con el transcurrir de los días.



**Imagen 20:** Se aprecia aceite de soja a temperatura de 70°.



**Imagen 21:** Se aprecian las muestras representativas para el contenido de humedad. Fecha: 29/06/2017.



**Imagen 22:** Se aprecia que hay exudación de aceite producto de la energía de compactación



**Imagen 23:** Se aprecia los ensayos de penetración de la muestra se realizan en su estado de inmersión.



**Imagen 24:** Se aprecia compactación de CBR de la muestra estabilizada.

*TESIS: "Estudio del potencial estabilizante del aceite de soja para los suelos granulares de sub rasante en pavimentos rígidos urbanos de la ciudad del Cusco"*