



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO  
ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL  
ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100”**

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Civil**

**Autora:**

Karen Estefany Palomino Terán

**Asesora:**

Ing. Irene del Rosario Ravines Azañero

Cajamarca – Perú

2016

## APROBACIÓN DE LA TESIS

La asesora y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Palomino Terán Karen Estefany**, denominada:

**“CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100”**

---

Ing. Irene del Rosario Ravines Azañero

**ASESORA**

---

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga

**JURADO PRESIDENTE**

---

Ing. Alejandro Cubas Becerra

**JURADO**

---

Ing. Jhonny Alejandro Ignacio Malca

**JURADO**

## DEDICATORIA

A Dios, quien me dio la fe, la fortaleza, la salud e inspiró mi espíritu; para la conclusión de esta tesis.

A mi familia, quienes por ellos soy lo que soy, quienes me brindan su amor, su estímulo y apoyo constante. A mis padres, quienes me dedicaron vida, educación, apoyo y consejos; quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer, para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.

A mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

## AGRADECIMIENTO

Primeramente doy gracias a Dios, por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad; gracias a la Universidad Privada del Norte, por permitirme convertirme en un profesional, en lo que tanto me apasiona.

Gracias a mis padres, por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día creer en mí y en mis expectativas, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida.

De igual manera agradecer a mi asesora de tesis la Ingeniera Irene del Rosario Ravines Azañero, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su amistad, sus conocimientos, su persistencia y su motivación han sido fundamental para mi formación como investigadora.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS .....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema .....	18
1.3. Justificación.....	18
1.4. Objetivos .....	18
1.4.1. Objetivo General .....	18
1.4.2. Objetivos Específicos .....	18
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Antecedentes .....	19
2.2. Bases Teóricas .....	21
2.3. Definición de términos básicos .....	50
<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS .....</b>	<b>52</b>
3.1. Formulación de la hipótesis.....	52
3.2. Operacionalización de variables.....	52
<b>CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
4.1. Tipo de diseño de investigación.....	53
4.2. Material.....	53
4.2.1. Unidad de estudio. ....	53
4.2.2. Población. ....	53
4.2.3. Muestra. ....	53
4.3. Métodos.....	54
4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos .....	54

<b>CAPÍTULO 5. DESARROLLO .....</b>	<b>55</b>
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores típico de consistencia del suelo.....	35
Tabla N° 2: Sistema unificado de clasificación de suelos-Suelos de grano grueso.....	37
Tabla N° 3: Sistema unificado de clasificación de suelos-Suelos de grano fino.....	38
Tabla N° 4: Índice de grupo.....	40
Tabla N° 5: Sistema de clasificación AASTHO.....	41
Tabla N° 6: Resumen del ensayo proctor modificado.....	44
Tabla N° 7: Operacionalización de variables.....	51
Tabla N° 8: Número de especímenes por ensayo .....	52
Tabla N° 9: Coordenadas UTM del banco de arcilla.....	55
Tabla N° 10: Resultados de ensayo análisis granulométrico por lavado.....	62
Tabla N° 11: Cuadro comparativo de los ensayos de límites de atterberg.....	63
Tabla N° 12: Cuadro comparativo de los ensayos de proctor modificado y CBR.....	64
Tabla N° 11: Clasificación de la plasticidad según el límite líquido.....	68
Tabla N° 12: Relación entre el CBR y la calidad del material para usarse en terraplenes .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Mapa de zonificación de suelos expansivos de la región norte y nororiente del Perú.....	14
Figura N° 02: Mapa de peligros ante fenómeno de origen geológico- Cajamarca.....	15
Figura N° 03: Suelos inestables de un pavimento. ....	16
Figura N° 04: Escarificación de suelo.....	27
Figura N° 05: Camión cisterna en proceso de la aplicación del estabilizador Maxxseal 100.....	27
Figura N° 06: Ubicación del banco de arcillas.....	55
Figura N° 07: Acceso a la cantera.....	56
Figura N° 08: Curva de análisis granulométrico por lavado.....	62
Figura N° 09: Comparación de los resultados de límite líquido.....	63
Figura N° 10: Comparación de los resultados de límite plástico.....	64
Figura N° 11: Comparación de los resultados de índice plástico.....	64
Figura N° 12: Comparación de resultados de densidad máxima seca.....	66
Figura N° 13: Comparación de resultados del óptimo contenido de humedad.....	66
Figura N° 14: Comparación resultados del CBR a 0.1”.....	67
Figura N° 15: Comparación resultados del CBR a 0.2”.....	67
Figura N° 16: Comparación de la densidad .....	68



## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1: Ecuación de contenido de humedad.....	29
Ec. 2: Ecuación para el cálculo de contenido de humedad.....	29
Ec. 3: Ecuación para el cálculo de contenido de humedad.....	30
Ec. 4: Ecuación para el porcentaje retenido.....	31
Ec. 5: Ecuación para el porcentaje retenido acumulado.....	31
Ec. 6: Ecuación para el porcentaje que pasa en cada tamiz.....	32
Ec. 7: Ecuación para el índice plástico.....	32
Ec. 8: Índice de grupo.....	38
Ec. 9: Ecuación para cálculo de Densidad Seca .....	45
Ec. 10: Ecuación para calculo California Bearing Ratio (CBR).....	45
Ec. 11: Ecuación de para el cálculo del esfuerzo.....	48

## RESUMEN

La estabilización de suelos es la modificación de cualquiera de sus propiedades, para mejorar su comportamiento ingenieril. Esta tesis evalúa un producto relativamente nuevo en el mercado: Maxxseal 100, el cual es fabricado por una empresa PARTNER y distribuido en el Perú por la empresa ENVIROSEAL LIMA; el estabilizante en mención es a base de co-polímeros de moléculas de alto peso de vinilo acrílico; que se vende como posible mejorador de la estabilidad de los suelos, que según se indica permitirá incrementar la resistencia de un suelo, lo que se demostró a través de la presente investigación. El objetivo de esta tesis fue determinar la capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso con la incorporación de 2, 4 y 6 % del estabilizador Maxxseal 100. Para el desarrollo de este proyecto de investigación primero se procedió a la obtención de la muestra (suelo arcilloso) de un banco de arcilla de la cantera el Cerrillo, distrito Baños del Inca, provincia de Cajamarca, región Cajamarca. Posteriormente se analizó el suelo en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte-Cajamarca, con base en las Normas Técnicas Peruanas. El estudio se centra en un solo tipo de suelo (arcilloso) y las variaciones sufridas en la capacidad portante (CBR) después del uso del aditivo químico en mención. Al concluir la tesis se logró determinar que la capacidad portante (CBR) del suelo limo arcilloso fue de 5.10%, incorporándole el estabilizador Maxxseal 100 en los porcentajes de 2%, 4%, y 6%, se obtuvo los siguientes valores para un CBR a 0.1", con la muestra patrón un CBR de 5.10%, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7%, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 9.60%, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11%; para un CBR al 0.2", con la muestra patrón un CBR de 5.40%, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7.30%, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 10.10%, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11.70%.

## ABSTRACT

Soil stabilization is the modification of any of its properties to improve their engineering behavior. This thesis evaluates a relatively new product on the market: Maxxseal 100, which is manufactured by a company PARTNER and distributed in Peru LIMA ENVIROSEAL by the company; the stabilizer mention is based copolymers molecules vinyl acrylic high weight; It sold as a possible improver soil stability, which as indicated will increase the resistance of a floor, which was demonstrated through this investigation. The aim of this thesis was to determine the bearing capacity (CBR) of a loamy soil with addition of 2, 4 and 6% stabilizer Maxxseal 100. For the development of this research project first proceeded to obtain the sample (soil clayey) of a bank clay quarry el Cerrillo, district Baños del Inca, Cajamarca province, Cajamarca region. Subsequently, the soil was analyzed in the laboratory soil of Private University of the North, based on the Peruvian Technical Standards. The study focuses on one type of soil (clay) and variations suffered in the bearing capacity (CBR) after the use of chemical additives in question. At the conclusion of the thesis it was determined that the bearing capacity (CBR) of clay loam soil was 5.10%, incorporating the stabilizer Maxxseal 100 in the percentages of 2%, 4% and 6%, the following values were obtained for CBR 0.1 "with the pattern shows a CBR of 5.10%, incorporating 2% of Maxxseal 100 a CBR of 7%, incorporating 4% of Maxxseal 100 a CBR of 9.60%, incorporating 6% Maxxseal 100 a CBR of 11 %; for CBR 0.2 "with the pattern shows a CBR of 5.40%, incorporating 2% of Maxxseal 100 a CBR of 7.30%, incorporating 4% of Maxxseal 100 a CBR of 10.10%, incorporating 6% Maxxseal 100 one CBR of 11.70%.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En los tiempos recientes el problema de suelos expansivos en el mundo ha alcanzado notoriedad, debido a su extensión y al impacto económico de sus daños; dicho problema empezó a ser reconocido a fines de los años 30, debido a la utilización de construcciones de albañilería y el agrietamiento producido en dichas construcciones por el efecto del suelo expansivo. El incremento de las construcciones en zonas áridas después de la segunda Guerra Mundial, ha incrementado considerablemente los daños en estructuras construidas sobre arcillas expansivas (Rojas y Alva, 2005).

Los daños producidos por el fenómeno de las arcillas expansivas son muy diversas afectando la funcionalidad y estética de las estructuras, llegando en algunos casos a situaciones de ruina y representa pérdidas que se pueden estimar en millones de dólares. Estudios recientes hablan que alrededor de los años de 1990 la cifra de estimación de daños en dólares por suelos expansivos es de \$10.0 billones de dólares aproximadamente, concentrándose los daños en los estados de Texas, Colorado, Oklahoma, Dakota del Norte Y Montana (Romero, 2008).

En el Perú se ha determinado la existencia de arcillas expansivas, cuyos cambios de volumen, están provocando una serie de problemas en las estructuras. Estos suelos se encuentran en el norte y nororiente del Perú (Piura, Chiclayo, Iquitos, Bagua) y el sur del Perú (Chincha, Pisco e Ica) (PNUD, 2009).

En la sierra norte y el área de Jaén y Chamaya se ha determinado una zona de características geológicas y climáticas, que hacen posible la existencia de suelos expansivos en lugares específicos (Rojas y Alva, 2005).

Según los estudios de zonificación de suelos expansivos, la ciudad de Cajamarca, se encuentra ubicada en una zona de características geológicas y climáticas que hacen posible la ocurrencia de suelos expansivos. En el informe técnico denominado (PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN ANTE DESASTRES CIUDAD DE CAJAMARCA) publicado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2005) señala que en la ciudad de Cajamarca existen peligros ante

fenómenos geológicos, en el cual ha identificado cuatro niveles de peligro considerando en la zona de muy alto peligro a suelos lagunares, compuestos principalmente por arcillas plásticas y arcillas limosas, con contenidos de humedad relativamente altos, debido a la presencia del nivel freático alto.

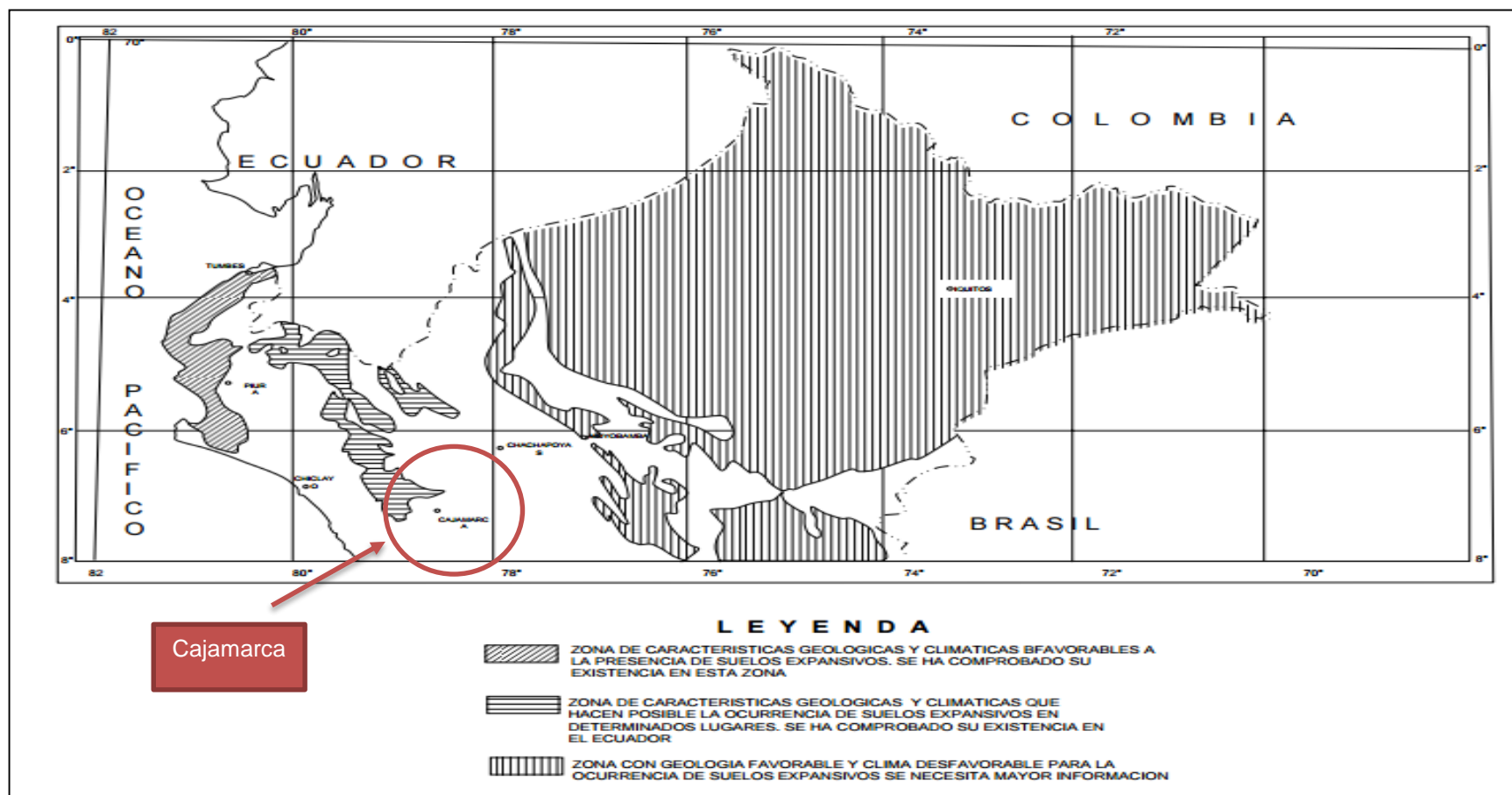
El alto índice de fallas en la ciudad de Cajamarca, principalmente en la Vía de Evitamiento Norte de la ciudad de Cajamarca; puede deberse, a la falta de mantenimiento, exceso de tránsito y carga. Las fallas con mayor nivel de severidad que se presentan en pavimentos flexibles de la Vía de Evitamiento Norte son: baches en mal estado, piel de cocodrilo, agrietamiento longitudinales, agrietamiento transversales y agrietamiento en bloque (Rabanal, 2014).

Un problema muy común en la construcción de vías, bien sean rurales o urbanas en la ciudad de Cajamarca, son las subrasantes que generalmente están constituidas por suelos de baja calidad de soporte (suelos limo- arcillosos), frente a esto para el efecto de diseño se tienen tres alternativas: utilizar el suelo tal como es, sustituirlo por material de cantera o tratarlo de forma tal que se mejoren sus características físico – mecánicas y pueda soportar los esfuerzos a los que será sometido por efectos de tránsito (Silva, 2016).

Muchas fallas que actualmente se pueden observar en los pavimentos existentes en la ciudad de Cajamarca, se deben fundamentalmente a un mal comportamiento de la subrasante debido, a que los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento son superiores a la capacidad de soporte de dicho suelo, esto se ve agudizado aún más por la presencia de humedad del alto nivel freático (Silva, 2016).

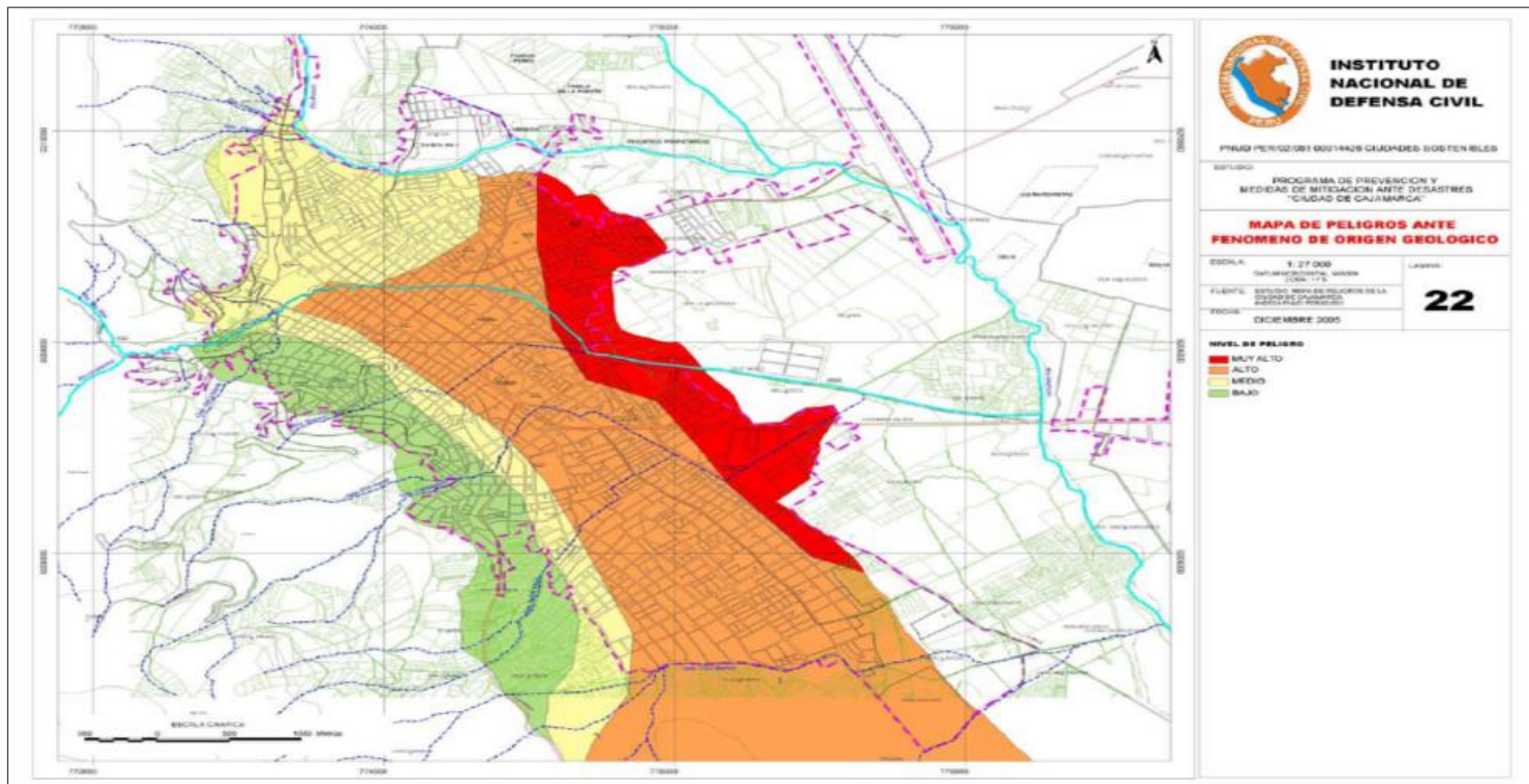
Según lo expuesto es factible realizar la investigación, ya que la región Cajamarca presenta alto porcentajes de suelos arcillosos, los cuales vienen degradando la calidad de los pavimentos y se traducen en una serie de fallas; produciendo congestionamiento vehicular y ocasionan accidentes de tránsito como por ejemplo el pavimento asfáltico Jancos-San Miguel de Pallaques el cual se encuentra en estado de colapso. Es necesario mejorar las subrasantes a fin que los pavimentos logren alcanzar la vida útil para los cuales fueron diseñados y de esta manera lograr obras integrales, que contribuyan al desarrollo social y económico del País.

**Figura N° 1:** Mapa de zonificación de suelos expansivos de la región norte y nororiente del Perú



**FUENTE:** Rojas & Alva, 2005.

**Figura N° 02:** Mapa de peligros ante fenómeno de origen geológico- Cajamarca



FUENTE: INDECI, 2005.

Las arcillas expansivas sufren cambios de volumen debido a las variaciones en su humedad, adquirida por capilaridad y/o por infiltración. Cualquier construcción ligera asentada sobre este tipo de suelos experimentará deformaciones causadas por la expansión de la arcilla, dichos movimientos se traducen en grietas sobre muros y el levantamiento de pisos (López, 2010).

El funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos subyacentes. Los suelos inestables pueden crear problemas significativo en las estructuras y pavimentos (Asociación Americana de Constructores Carreteras, 2004).

El principal problema de proyectar o construir pavimentos sobre suelos expansivos es el evitar cambios de contenido de humedad, para reducir al mínimo las distorsiones y los agrietamientos. Los daños típicos de suelos expansivos en pavimentos son: elevación o descensos de la superficie de rodamiento, agrietamiento longitudinal y agrietamiento generalizado (Rico, 2005).

**Figura N° 03:** Suelos inestables de un pavimento.



**FUENTE:** Asociación Americana de Constructores Carreteras, 2004.



La estabilización de suelos consiste en mejorar un suelo existente adicionando un material, que normalmente es cal o cemento. Las ventajas directas que obtenemos de la estabilización son, entre otras, las siguientes: aprovechar suelos de baja calidad, evitando su extracción y transporte a vertedero; reducir la sensibilidad al agua de los suelos, aumentando su resistencia a la erosión, a la helada y otros agentes climáticos; permitir la circulación por terrenos inestables y obtener una base estable de apoyo del pavimento de infraestructuras que colabore estructuralmente con el mismo (Piqueras, 2014).

Una nueva propuesta es la estabilización de suelos utilizando polímeros, la cual viene dando buenos resultados, como lo señala López, 2010, quién indica que, las pruebas muestran que la mezclas suelo-polímero reducen la expansión en aproximadamente, el 40%, respecto a la del suelo natural.

Según Valle, 2010, el porcentaje de RBI-81 de Road Building International (Aditivo químico a base de encimas), que es necesario para la estabilización de suelo con óptimos resultados, está en el rango del 2-6%.

En Cajamarca la inestabilidad de los suelos es uno de los principales problemas que presentan las infraestructuras; para corregir este problema se usan variadas técnicas de estabilización de suelos, para mejorar las propiedades físico –mecánicas. El tratamiento con polímeros es un método para estabilizar los suelos, el cual ayuda a transformar las propiedades físico-mecánico de los suelos inestables en materiales utilizables. Esta investigación utiliza Maxxsseal 100, dicho polímero se aplica en la estabilización de suelos expansivos.

Con el fin de determinar la eficiencia del estabilizador comercial Maxxsseal 100, sobre un suelo arcilloso, se realizaron pruebas incorporando el 2%, 4% y 6% del estabilizador y se medirá la capacidad portante del mismo.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso, con la incorporación de 2%,4% y 6% del estabilizador Maxxseal 100?

## 1.3. Justificación

La estabilización de los suelos con la incorporación de Maxxseal 100 nos permitirá conocer si éste realmente aumenta la capacidad portante del suelo, por lo que este estudio ayudará a tener otra alternativa de solución para mejorar la resistencia de los suelos arcillosos; el conocimiento sobre la capacidad estabilizante de Maxxseal 100, servirá como una alternativa de utilización en futuros proyectos a empresas constructoras. A la vez este conocimiento servirá de base para otros estudios relacionados y lograr enriquecer los conocimientos de mecánica de suelos.

## 1.4. Objetivo

### 1.4.1. Objetivo General

Determinar la capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso con incorporación de 2%,4% y 6% del estabilizador Maxxseal 100.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Clasificar un suelo mediante los Sistemas Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) que cumpla con las características de ser arcilloso.
- Determinar la variación del índice de plasticidad de un suelo arcilloso con la incorporación de 2%,4% y 6% del estabilizador Maxxseal 100.
- Determinar los parámetros de compactación de un suelo arcilloso con la incorporación de 2%,4% y 6% del estabilizador Maxxseal 100.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales.

López, 2010, en su estudio denominado polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. Esta investigación utiliza un poliuretano, que comúnmente se aplica para sellado de grietas en la construcción. Dicho polímero se aplica en la estabilización de cambios volumétricos de suelos expansivos. Se consideraron muestras remoldeadas de suelo natural y suelo tratado con polímero; en ambas muestras se determinaron propiedades índices, compactación, resistencia al esfuerzo cortante, expansión y consolidación; pruebas que determinaron si es factible la utilización de dicho polímero. El resultado más significativo de esta investigación es el que se refiere a la expansión. Las pruebas muestran que la mezclas suelo-polímero reducen la expansión en aproximadamente, el 40%, respecto a la del suelo natural; en el ensayo de compactación Proctor Modificada que se realizó al suelo natural, se obtuvo un peso específico seco máximo de  $1.347 \text{ ton/cm}^3$  y humedad óptima de 32%. Para la mezcla suelo-polímero, el peso específico seco máximo fue de  $1.327 \text{ ton/cm}^3$  y humedad óptima de 31%.

Rodríguez, Rondón, Vélez y Aguirre (2006) en su estudio influencia de la Inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo sub-base, concluyen que en el desarrollo del proyecto se determinó que el aditivo de desecho de PVC mejora el CBR de un material granular tipo sub-base a partir del 1.8%, caso en el cual mantiene las propiedades originales. Cuando se utilizaron porcentajes iguales o mayores al 3%, la resistencia aumentó y el peso unitario disminuyó. En esta investigación se utilizó desecho de PVC como material de adición, para modificar el comportamiento de una sub-base granular. A partir de ensayos de Proctor y CBR se comparó el comportamiento del material natural, y mezclado con diferentes proporciones del desecho de PVC (1%, 3% y 5%). Los resultados de la investigación muestran que el óptimo contenido de humedad disminuye de 7.68% sin aditivo a 6.48% con la adición de 5% de desechos de PVC ; la densidad seca disminuye de  $2.07 \text{ gr/cm}^3$  sin aditivo a  $2.04 \text{ gr/cm}^3$  con

la adición de 5% de desechos de PVC; el CBR de una mezcla de material granular, tipo sub-base, y material de desecho, presenta un incremento notable el suelo sin aditivo presenta un CBR de 70.67% el cual se incrementó a 129.97 % con la adición de 5% de desechos de PVC.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales.**

Ugaz, Tupia y Alva, 2001, en su estudio denominado ensayos de estabilización de suelos con el aditivo Rbi-81, concluye que luego de ensayar muestras de gravas limosas, gravas arcillosas y gravas mal gradadas arcillosas, con porcentaje de aditivo de 0%, 2% y 4% en peso. Se notó un ligero incremento del límite líquido con el incremento del porcentaje del aditivo y una ligera disminución del índice plástico con el aumento del porcentaje de aditivo. En relación a los valores de compactación Proctor Modificado, se notó una ligera disminución en los valores de máxima densidad seca y un ligero aumento en el óptimo contenido de humedad.

El incremento del valor del CBR es grande, con 2% del aditivo el valor de CBR se incrementa de 2.3 a 6 veces y con 4% del aditivo los valores aumentan de 6 a 25 veces para el CBR al 100% de la máxima densidad del ensayo Proctor Modificado. Se utilizó el estabilizador de suelos, el RBI-grado 81 de Road Building International, para determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo, se realizaron ensayos estándar de clasificación de suelos, contenido de humedad y ensayos especiales de compactación, Proctor Modificado, CBR y compresión no confinada para el material natural y con distintos porcentajes del estabilizador de suelos utilizado. Los ensayos se realizaron en los laboratorios de Hidroenergía Consultores en Ingeniería y de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Ravines, 2010, en su estudio denominado pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras concluye que luego de ensayar muestras un suelo de clasificación CL (SUCS) concluye que aumento del valor soporte relativo y de la resistencia. Se confirma una mejoría en los resultados de las pruebas CBR, con un aumento en los resultados de las pruebas de hasta el 200% en el material con aditivo

con respecto al material sin aditivo. Se utilizó el estabilizador de suelos, Perma-zyme 22X, este producto está basado en la tecnología de fermentación de enzimas orgánicas y es usado para estabilizar suelos plásticos-arcillosos mejorando los procesos de homogeneización y compactación de suelos. Se han realizado ensayos estándar de clasificación de suelos, Proctor, CBR. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Suelos de la Universidad de Piura con base en la Norma Técnica Peruana adecuada para cada ensayo realizado.

### **2.1.3. Antecedentes Locales.**

Al realizar una búsqueda de antecedentes locales, se concluyó que no existen investigaciones respecto al tema, sin embargo se encontraron estudios relacionados como los de:

Anabelén García Gonzales, 2015, en su tesis titulada “Determinación de la resistencia de la sub-rasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca” concluye que se determinó la resistencia de la sub-rasante al incorporar cal estructural por medio del ensayo CBR teniendo así el ensayo al 0.1” con suelo natural un CBR de 5.20%, incorporando 2% de cal un CBR de 5.30%, incorporando 4% de cal un CBR de 6.30%, incorporando 6% de cal un CBR de 7.20% incorporando 8% de cal un CBR de 8.05%; CBR al 0.2” con suelo natural un CBR de 5.40%, incorporando 2% de cal un CBR de 5.70%, incorporando 4% de cal un CBR de 6.60%, incorporando 6% de cal un CBR de 7.50% incorporando 8% de cal un CBR de 8.30%.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Suelo.**

“Suelo es una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres humanos” (Crespo, 2004).

“Suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y

gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas” (Braja , 1998).

Según Badillo, 2008, en ingeniería civil todas las obras se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados. El suelo se comporta como una estructura más, con características físicas propias: densidad, porosidad, talud natural, cohesión y ángulo de fricción interna, que le confieren ciertas propiedades resistentes ante diversas sollicitaciones: compresión, cizalla, reflejadas en magnitudes como la tensión admisible o los asentamientos máximos y diferenciales

### **2.2.2. Arcillas.**

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.002 mm según las normas AASHTO y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados (Roldán, 2010).

### **2.2.3. Propiedades físico-mecánicas del suelo.**

El conocimiento de las principales propiedades de los suelos es de vital importancia, pues mediante su correcta interpretación se puede predecir el futuro comportamiento del terreno bajo cargas (Crespo, 2004).

Se informó que las propiedades más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización son la estabilidad volumétrica, la resistencia, permeabilidad y compresibilidad. Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se deben concentrar en verificar si mejora alguna de estas propiedades (Ravines, 2010).

### **2.2.3.1. Resistencia.**

La resistencia mecánica es el factor principal del suelo y de la roca que se usan en las presas, altos terraplenes y subrasantes; depende de la naturaleza del material del suelo, la humedad y la relación de vacíos. Al aplicar algún tratamiento se deben estudiar los efectos que éste pueda ocasionar en el suelo, ya que si el suelo permanecerá húmedo en las condiciones de trabajo, entonces la determinación de la resistencia bajo estas circunstancias sería la adecuada; pero si el suelo permanecerá seco, es aconsejable realizar pruebas con cargas repetidas para estudiar algunos efectos como pulverización y disgregación. En los suelos finos tiene una gran importancia la energía de compactación, principalmente cuando se emplean humedades superiores a la óptima, debido a la diferente estructuración que adoptan las arcillas al ser compactadas mediante procedimientos de compactación diferentes (George B y George F, 1976).

Para mejorar esta propiedad se suele usar la estabilización mecánica (compactación). Algunas formas de estabilización más usadas para lograr una mayor resistencia son: compactación, estabilización mecánica con mezclas de otros suelos y estabilización química con cemento, cal u otros aditivos (Ravines , 2010).

### **2.2.4. Generalidades de las estabilizaciones.**

Según la normativa peruana la estabilización agrupa a un concepto general que considera el mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y/o físicoquímicos. Se puede decir que la estabilización es el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento para corregir alguna deficiencia o alterar sus propiedades físicas o mecánicas, de modo que se incremente o mejore un suelo, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas dándole estabilidad en cualquier condición de tiempo y servicio (Fratelli, 1993).

### 2.2.5. Métodos de estabilización de suelos.

Existen cuatro tipos de estabilización en los suelos, los cuales son (Valdez, 2008):

#### ✓ Estabilización física

Este método se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo, sin que se produzcan reacciones químicas de importancia. Hay varios métodos como lo son:

- Estabilización por compactación.
- Estabilización empleando la mezcla de suelos.

#### ✓ Estabilización química

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. Hay varios métodos como lo son:

- Cal. Utilizada generalmente para disminuir la plasticidad y consecuentemente también los cambios volumétricos de un material arcilloso, la forma de más uso es cal hidratada, óxidos o hidróxidos. Es técnicamente muy sencilla y bastante económica.
- Cemento Portland. Utilizado generalmente para suelos arenosos o gravas finas, la mayor ventaja es el incremento de la resistencia, también se puede usar para suelos arcillosos pero implica mayor porcentaje de este.
- Cloruro de sodio o de calcio (sales). Para arcillas y limos, ayudan en la compactación, impermeabilizan, disminuyen los polvos, benefician la resistencia del suelo y el comportamiento de estos ante la congelación, mas sin embargo como la sal es muy soluble es considerada como muy poco durable.
- Polímeros y Resinas. Son cadenas muy largas de moléculas formadas por unión de componentes orgánicos, a los que se denomina monómeros. Los polímeros naturales tienen la forma de resinas. La incorporación de polímeros a los suelos se hace de dos



maneras; o se añaden los monómeros junto con un sistema catalizador que produce la polimerización posterior o el polímero se añade ya formado, sólido, en solución o en emulsión.

✓ **Estabilización eléctrica.**

Se refiere principalmente a la utilización de ciertos procesos fisicoquímicos.

- Electrostática. Denominada también como electrósmosis, consiste en aplicar al suelo, combinadamente, una corriente eléctrica que origina una serie de fenómenos de naturaleza fisicoquímicos y la acción de dispositivos de bombeo. Técnica utilizada en la estabilización de suelos blandos.

✓ **Estabilización térmica.**

Se refiere a la utilización de procesos donde se ve involucrado el calor, el cual transforma cualquier arcilla en un ladrillo resistente.

- Por calentamiento.
- Por enfriamiento.

### **2.2.6. Estabilización con polímeros.**

Un polímero es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamados monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización. Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas (Areizaga et.al, 1992).

La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como las proteínas, la madera, la quitina, el caucho y las resinas son polímeros; también lo son muchos materiales sintéticos como los plásticos, las fibras

(nailon, rayón), los adhesivos, el vidrio y la porcelana (Rodríguez , Rondón, Vélez y Aguirre , 2006).

#### **2.2.6.1. Polímero: Maxx-Seal 100.**

Maxx-Seal es un co-polímero de moléculas de alto peso de vinilo acrílico. Maxx-Seal es fabricado por una empresa partner utilizando un extremado proceso de control y escudriñado sobre cada lote producido. Cada lote/ batch es evaluado antes, durante y después de la finalización para asegurar que el resultado de producción de polímeros son de la más alta calidad (high grade) para un resultado en el control de polvo y estabilización de suelos (LatinSeal, 2009).

Cuando Maxx-Seal es aplicado al suelo, las moléculas de co-polímeros se fusionan y forman los lazos de unión entre el suelo y las partículas de este. El alto peso molecular y la larga cadena de polímeros forman una matriz resistente que es muy durable y resistente al agua. Moderados niveles de aplicación son útiles para la supresión del polvo y el control de la erosión. Los niveles de aplicación más concentrados pueden generar cualidades similares al concreto y son útiles para la solidificación y estabilización del suelo, como el que se encuentra en la construcción de carreteras. Mediante el ajuste de la tasa de aplicación, Maxx-Seal puede ser eficaz por semanas (control de polvo) o para varios años (estabilización) (LatinSeal, 2009).

#### **2.2.6.2. Método de aplicación Maxx-Seal 100.**

Una vez que el producto se encuentra en el lugar del proyecto se añadirá a un camión cisterna con agua. La relación de los polímeros y agua se estima previamente y se confirma antes que se inicie la aplicación. Básicamente hay dos métodos para aplicar el polímero. Uno de ellos es para una estabilización profunda (LatinSeal, 2009).

El método de estabilización requiere escarificación del suelo a la profundidad requerida de la estabilización. Esto se puede llevar a

cabo con una motoniveladora o con un tractor con ripper (LatinSeal, 2009).

**Figura N° 04:** Escarificación de suelo.



**Fuente:** LatinSeal, 2009.

Una vez que el suelo ha sido bien escarificado o abierto con discos, se comienza a agregar la mezcla de Maxx-Seal con agua. A medida que el camión cisterna pasa con el mix de Maxx-Seal /agua. Una vez que haya finalizado usted debe tener un suelo humedecido uniforme que está listo para darle forma (LatinSeal, 2009).

**Figura N° 05:** Camión cisterna en proceso de la aplicación del estabilizador maxxseal100.



**Fuente:** LatinSeal, 2009

Antes de que pasar un rodillo para compactar, se recomienda utilizar la motoniveladora para suavizar el suelo o terreno. No debe de excavar profundamente para no traer suelo no tratado. Si usted ve que el color de la tierra humedecida es desigual, es recomendable humedecer de nuevo según sea necesario en estas secciones. Una vez que esté satisfecho con la uniformidad de la humedad y la forma de la carretera puede comenzar a compactar con un rodillo (LatinSeal, 2009).

Tan pronto como el suelo este compactado se puede abrir el camino al tránsito. El tráfico adicional ayudará a compactar el camino aún más y hacerlo que sea extremadamente sólido. Después que el camino seque durante un tiempo debe de utilizar el camión aljibe para aplicar la última capa de sellado. Así se sellará la superficie y añadirá mejor resistencia a la abrasión (LatinSeal, 2009).

### **2.2.6.3. Ventajas y atractivos de Maxx-Seal.**

Según la revista Maxxseal 100 (2009)

- Excelente resistencia mecánica y adherencia, rendimiento incomparable.
- Baja demanda de agua con buen desempeño.
- Excelente dureza y adherencia.
- Excepcional resistencia a degradación UV.
- Excelente estabilidad en almacenamiento a largo plazo, es decir, sin desintegración de sus componentes, especialmente sólidos.
- Reducción en costos de transportación.
- Amplia latitud en formulaciones: compatible con aditivos utilizados comúnmente.
- Larga vida útil, 1 año garantizado.

## 2.2.7. Ensayos de suelos.

### 2.2.7.1. Contenido de humedad.

Según la Norma Técnica Peruana: Contenido de Humedad, (NTP 339.127, 1999), define lo siguiente:

Esta propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos por la cantidad de agua que contienen. El contenido de humedad de un suelo se determina como la relación que existe entre el peso del agua ( $W_w$ ) contenida en la muestra y el peso de su fase sólida ( $W_s$ ). Se expresa en porcentaje.

Según Campos Rodrigues & Guzmán Germán (2005) el contenido de humedad ( $w$ ), se define como el cociente entre la masa de agua contenida y la masa de los sólidos de una masa de suelo, que se escribe:

$$w(\%) = \frac{M_w}{M_s} * 100 \quad \dots\dots(\text{Ec.1})$$

- La masa de la muestra de suelo será:  $M_1$ .
- Si la muestra de suelo es secada en un horno de laboratorio de tal manera que ya no tenga contenido de agua, la masa de la muestra sin contenido de agua será:  $M_2$ .
- Entonces la masa del agua que contiene el suelo será:  $M_1 - M_2$ . Por lo tanto el contenido de humedad del suelo será:

$$w(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100 \quad \dots\dots(\text{Ec.2})$$

#### a) Material

Muestra alterada extraída del estrato en estudio.

### b) Equipo y herramientas

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa con control de temperatura.
- Taras.

### c) Procedimiento

- Pesar la tara ( $W_t$ ).
- Pesar la muestra húmeda en la tara ( $W_h + t$ ).
- Secar la muestra en la estufa durante 24 horas a  $105\text{ }^\circ\text{C}$
- Una vez pasada las 24 horas esta se retirara del horno y se procederá a pesar la muestra seca más tara ( $W_s + t$ ).
- Determinar el peso del agua  $W_w = (W_m + t) - (W_s + t)$
- Determinar el peso de la muestra seca  $W_s = (W_s + t) - W_t$
- Determinar el contenido de humedad  $w\%$  , mediante la siguiente formula.

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100 \quad \dots\dots \text{(Ec.3)}$$

### 2.2.7.2. Análisis granulométrico.

Según la Norma Técnica Peruana: Análisis granulométrico, (NTP 339.128, 1999), define lo siguiente:

La función de este ensayo es determinar las proporciones de los distintos tamaños de granos existentes en el suelo.

El tamiz es la herramienta fundamental para efectuar este ensayo; se trata de un instrumento compuesto por un marco rígido al que se halla sujeta una malla caracterizada por un espaciado uniforme denominado abertura, a través del cual se hace pasar la muestra de suelo a analizar. Se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una determinada cantidad de suelos seco, quedando

retenida en cada tamiz la parte de suelo cuyas partículas tengan un tamaño superior a la abertura de dicho tamiz (Roldán , 2010).

#### a) Material

Muestra seca aproximadamente 500 gr de suelo limo arenoso.

#### b) Equipo y herramientas

- Juego de mallas
- Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Horno
- Taras

#### c) Procedimiento

- Secar la muestra.
- Pesar la muestra seca ( $W_{ms}$ ).
- Colocar la muestra en un recipiente, cubrir con agua y dejar durante algunas horas dependiendo del tipo de material
- Tamizar la muestra por la malla N° 200 mediante chorro de agua.
- La muestra retenida en la malla N° 200 se retira en un recipiente y se dejara secar al aire por 24 horas.
- Pasar la muestra seca por el juego de tamices, agitando en forma manual o mediante equipo vibrador.
- Determinar los porcentajes de los pesos retenidos en cada tamiz (% R.P.) mediante la siguiente expresión.

$$\%R. P = \frac{P.R.P}{W_{ms}} * 100 \quad \dots\dots (Ec.4)$$

- Determinar los porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz P.RA, para lo cual se sumarán en forma progresiva los P.R.P., es decir:

$$\%R. A. 1 = \%R. P. 1$$

$$\%R. A. 2 = \%R. P. 1 + \%R. P. 2$$

$$\%R. A. 3 = \%R. P. 1 + \%R. P. 2 + \%R. P. 3, etc. \quad \dots (Ec.5)$$

- -Determinar los porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \%R.A. \quad \dots \text{ (Ec.6)}$$

- Dibujar la curva granulométrica en escala semilogarítmica, en el eje de abscisas se registrará la abertura de las mallas en milímetros, y en el eje de ordenadas se registrará los porcentajes acumulados que pasan en las mallas que se utilizan.

### 2.2.7.3. Plasticidad de los suelos.

Se define a la plasticidad, como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin demorarse ni agrietarse (Huanca, 2009).

#### Índice Plástico (IP).

$$IP = LL - LP \quad \dots \text{ (Ec.7)}$$

#### Límite líquido

Según la Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos, (NTP 339.129, 1999), define lo siguiente:

El límite líquido está definido como la humedad en la cual una masa de suelo se encuentra entre el estado plástico y el estado líquido.

#### a) Material

Suelo seco que pasa la malla N° 40

#### b) Equipo y herramientas

- Malla N° 40
- Copa de Casagrande y ranurador o acanalador
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa con control de temperatura



- Espátula
- Probeta de 100 ml.
- Cápsula de porcelana
- Taras

### c) Procedimiento

- En una cápsula de porcelana mezclar el suelo con agua mediante una espátula hasta obtener una pasta uniforme.
- Colocar una porción de la pasta en la copa de Casagrande, nivelar mediante la espátula hasta obtener un espesor de 1 cm.
- En el centro hacer una ranura con el acanalador de tal manera que la muestra queda dividida en dos partes.
- Elevar y caer la copa mediante la manivela a razón de 2 caídas por segundo hasta que las dos mitades de suelo se pongan en contacto en la parte inferior de la ranura y a lo largo de  $1/2$  "( 1.27 cm), registrar el número de golpes.
- Mediante la espátula retirar la porción de suelo que se ha puesto en contacto en la parte inferior de la ranura y colocarlo en una tara para determinar su contenido de humedad.
- Retirar el suelo remanente de la copa de Casagrande y colocar en la cápsula de porcelana, agregar agua si el número de golpes del ensayo anterior ha sido alto, o agregar suelo si el número de golpes ha sido bajo. (el número de golpes debe estar comprendido entre 6 y 35).
- Repetir el ensayo mínimo 2 veces más, de esta manera se tendrá como mínimo 3 valores del número de golpes correspondientes a 3 diferentes contenidos de humedad.
- Dibujar la curva de fluidez (es una recta) en escala semilogarítmica, en el eje de abscisas se registrará el número de golpes en escala logarítmica, en el eje de ordenadas los contenidos de humedad en escala natural.
- Determinar la ordenada correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, este valor será el límite líquido del suelo.

### **Límite plástico**

Según la Norma Técnica Peruana: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos, (NTP 339.129, 1999), define lo siguiente:

Es la frontera convencional entre los estados plástico y semisólido; es el contenido de humedad más bajo, para el cual el suelo comienza a fracturarse, cuando es amasado en rollitos de 3 mm de diámetro.

#### **a) Material**

Una porción de la mezcla preparada para el límite líquido.

#### **b) Equipo y herramientas**

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa
- Espátula
- Cápsula de porcelana
- Placa de vidrio
- Taras

#### **c) Procedimiento**

- A la porción de la mezcla preparada para el límite líquido agregar suelo seco de tal manera que la pasta baje su contenido de humedad.
- Enrollar la muestra con la mano sobre una placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3 mm. de diámetro y que presenten agrietamientos, determinar su contenido de humedad.
- Repetir el ensayo una vez más.
- El límite plástico es el promedio de los 2 valores de contenidos de humedad, si la diferencia entre estos 2 valores es mayor que dos puntos de porcentaje, repetir el ensayo.

En la tabla N° 1 se muestra los valores típicos de consistencia del suelo. En la siguiente tabla se muestran los rangos de valores más frecuentes de todos estos parámetros en diferentes tipos de suelos:

**Tabla N° 1:** Valores típicos de consistencia del suelo

PARÁMETROS	TIPOS DE SUELOS		
	ARENA	LIMO	ARCILLA
Límite líquido(LL)	15 - 20	30 - 40	40 - 150
Límite plástico(LP)	15 - 20	20 - 25	25 - 50
Límite de retracción(LR)	12 - 18	14 - 25	08 - 35
Índice de plasticidad(IP)	00 - 03	10 - 15	10 - 100

**Fuente:** Bañon Blazquez, 2010.

#### 2.2.7.4. Clasificación SUCS.

Según la Norma Técnica Peruana: Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos SUCS), (NTP 339.134, 1999), define lo siguiente:

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra. Este sistema fue adoptado por el U.S. Army Corps of Engineers en 1942 y en 1947 le introdujo algunos límites para evitar doble clasificación. En 1952, el Cuerpo de Ingenieros en conjunto con el Bureau of Reclamation y asesorados por el Dr. Casagrande efectuaron las últimas modificaciones.

Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que N°200 (0.075 mm). Se

representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz N° 4 (4.75 mm), y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz N° 4 (4.75 mm)

A la G o a la S se les agrega una segunda letra que describe la gradación: W, buena gradación con poco o ningún fino; P, gradación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; M, que contiene limo o limo y arena; C, que contiene arcilla o arena y arcilla.

Los suelos finos, con más del 50 % bajo tamiz N°200 (0.075 mm), se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O).

Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 % y H, si es mayor.

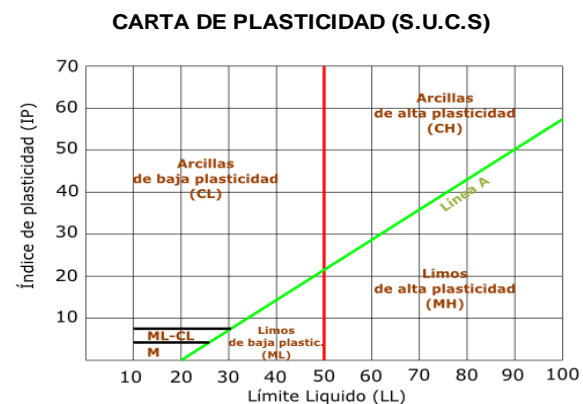
**Tabla N° 2:** Sistema unificado de clasificación de suelos- Suelos de grano grueso

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLOS DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO			
<b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b> Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	<b>Gravas limpias</b> (sin o con pocos finos)	<b>GW</b>	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>4$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
			<b>GP</b>	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.	
		<b>Gravas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	<b>GM</b>	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5%->GW,GP,SW,SP. >12%->GM,GC,SM,SC. 5 al 12%->casos límite que requieren usar doble símbolo.	Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			<b>GC</b>	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	<b>Arenas limpias</b> (pocos o sin finos)	<b>SW</b>	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cu= $D_{60}/D_{10}>6$ Cc= $(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3		
			<b>SP</b>	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		<b>Arenas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	<b>SM</b>	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP<4.	Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos
			<b>SC</b>	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con IP>7.	intermedios que precisan de símbolo doble.

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.134

**Tabla N° 3:** Sistema unificado de clasificación de suelos- Suelos de grano fino

<p><b>SUELOS DE GRANO FINO</b> Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200</p>	<p><b>Limos y arcillas:</b> Límite líquido menor de 50</p>	<p><b>ML</b></p>	<p>Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plásticidad.</p>	<p>G= Grava, S=Arena, O=Suelo Organico, P=Turba M=Limo, C= Arcilla, W= Bien Graduada, P=Mal Graduada, L=Baja Comprensibilidad, H=Alta Compresibilida</p>
		<p><b>CL</b></p>	<p>Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.</p>	
		<p><b>OL</b></p>	<p>Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.</p>	
	<p><b>Limos y arcillas:</b> Límite líquido mayor de 50</p>	<p><b>MH</b></p>	<p>Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.</p>	
		<p><b>CH</b></p>	<p>Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.</p>	
		<p><b>OH</b></p>	<p>Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.</p>	
<p><b>Suelos muy orgánicos</b></p>	<p><b>PT</b></p>	<p>Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.</p>		



**Fuente:** Norma Técnica Peruana 339.134

### 2.2.7.1. Clasificación AASHTO.

Según (ASTM D-3282,1973) define lo siguiente:

Este sistema clasifica a los suelos según el tamaño del grano, y según su plasticidad; sin embargo, éste sistema no da mucha descripción del material, pero si su aplicación en cuanto a carreteras y a tecnología del concreto.

La clasificación toma en cuenta 7 grandes grupos, desde el A-1 hasta el A-7: los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, A-3 son suelos gruesos granulares con un 35% o menos que pasan las malla Nº 200; los suelos clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, estos son suelos de material limosos y/o arcillosos.

Clasificación A-7-5 cuando  $IP \leq LL - 30$

Clasificación A-7-6 cuando  $IP > LL - 30$

La clasificación se basa en tres criterios:

**Tamaño del grano:** Distingue tres tamaños: grava, arena y finos (limos y arcillas), tamaños mayores a los 75 mm son excluidos del análisis para esta clasificación, pero se debe registrar la cantidad presente.

**Plasticidad:** Si el índice de plasticidad es inferior o igual a 10, se le denomina limo; si en cambio, el índice de plasticidad es superior a 10, se le denomina arcilla.

**Índice de grupo (IG):** Se desarrolló para evaluar la calidad del suelo para su uso en vías, el cual se halla con la siguiente fórmula empírica:

$$IG=0.2(a)+0.005(ac)+0.01(bd) \quad \dots\dots(Ec.8)$$

Donde:

IG máx = 20	Máximo	Mínimo
a = % que pasa nº 200 (35 - 75)	40	0
b = % que pasa nº 200 (15 - 55)	40	0
c = % LL (40 - 60)	20	0
d = % IP (10 - 30)	20	0

El IG se informa en números enteros y si es negativo se hace igual a 0.

Permite determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, subrasantes, subbases y bases.

Se clasifica al primer suelo que cumpla las condiciones de izquierda a derecha en la tabla.

El valor del IG debe ir siempre en paréntesis después del símbolo de grupo.

Cuando el suelo es NP o el LL no puede ser determinado, el IG es cero.

Si un suelo es altamente orgánico, se debe clasificar como A- 8 por inspección visual y diferencia en humedades.

**Tabla N° 4:** Índice de grupo.

ÍNDICE DE GRUPO	CARACTERÍSTICAS
IG > 9	Muy malo
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 a 2	Muy bueno
IG está entre 0 a 1	Muy bueno

**Fuente:** MTC, 2008



**Tabla N° 5:** Sistema de clasificación AASHTO.

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)						Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)				
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 min			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)	
Índice de plasticidad	6 máx	NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

(1): No plástico

(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

**Fuente:** ASTM D 3282, 1973.

### **2.2.7.2. Proctor Modificado.**

Según la Norma Técnica Peruana: Ensayo de Proctor Modificado, (NTP 339.141, 1999), define lo siguiente:

La relación existente entre la densidad seca de un suelo (su grado de compactación) y su contenido en agua es de gran utilidad en la compactación de suelos. Su regulación se realiza mediante el ensayo de Proctor en sus dos variantes, normal y modificado.

La diferencia entre las dos variantes (Proctor Estandar y Proctor Modificado) radica únicamente en la energía de compactación empleada, del orden de 4.5 veces superior en el segundo caso que en el primero. Esta diferencia puede explicarse fácilmente, ya que el Proctor Modificado no es más que la lógica evolución del Estandar.

Para medir el grado de compactación de un material o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de ésta se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo. Para obtener una buena compactación será necesario controlar debidamente la cantidad de agua, porque si ésta es muy poca, no existirá lubricación y no se podrá disminuir la fricción existente entre las partículas; en caso de que la humedad sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua.

La situación anterior, demuestra que es necesario determinar la cantidad de agua para obtener una excelente lubricación, que permita la mayor densidad posible llamada "Densidad Máxima o Peso Unitario Seco Máximo"; y a la cantidad de agua necesaria para obtener dicha densidad recibe el nombre de "Humedad Óptima".

En general, es conveniente compactar un suelo para:

- Aumentar la resistencia al corte y por consiguiente, mejorar la estabilidad y la capacidad de carga de pavimentos.
- Disminuir la compresibilidad y así reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos y por consiguiente, reducir la permeabilidad.
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

#### **a) Material**

Muestra alterada seca aproximadamente 30 kg.

- Papel filtro

#### **b) Equipo**

- Equipo proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión)
- Pisón proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml, recipiente de 6 kg. de capacidad, espátula, taras identificadas.

#### **c) Procedimiento**

- Primero debe verificarse el análisis granulométrico para ver cuál de los métodos es aplicable según la tabla N° 6.

**Tabla N° 6:** Resumen del ensayo proctor modificado

TIPO DE ENSAYOS		PROCTOR MODIFICADO ASTM D1557.91 (98)		
MÉTODO	A	B	C	
CONDICIONES PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO	% Ret. Acum. N° 4 ≤ 20%	% Ret. Acum. 3/8" ≤20%	% Ret. Acum. 3/4" ≤ 30%	
		% Ret. Acum. N° 4 >20%	% Ret. Acum. 3/8" >20%	
TIPO DE MATERIAL UTILIZADO	Pasante la malla N° 4	Pasante la malla 3/8"	Pasante la malla 3/4"	
N° DE CAPAS (N)	5	5	5	
N°DE GOLPES(N)	25	25	56	
DIÁMETRO DE MOLDE(CM)	10.16 ± 0.04	10.16 ± 0.04	10.16 ± 0.04	
ALTURA DEL MOLDE (CM)	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05	11.64 ± 0.05	
VOLUMEN DEL MOLDE V (CM <sup>3</sup> )	944 ± 0.14	944 ± 0.14	944 ± 0.14	
PESO DEL MARTILLO W (KG)	4.54 ± 0.01	4.54 ± 0.01	4.54 ± 0.01	
ALTURA CAIDA DEL MARTILLO (CM)	45.72 ± 0.16	45.72 ± 0.16	45.72 ± 0.16	
DIÁMETRO DEL MARTILLO(CM)	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025	5.08 ± 0.025	
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (KG/CM) CM <sup>3</sup>	27.485	27.485	27.363	

Fuente: NTP 339.141, 1999

- Obtener aproximadamente 30 kg. de muestra seca para el ensayo, de acuerdo al método a utilizar (método A, B o C).
- Preparar 5 muestras (cada una de ellas aproximadamente de 6 kg.) con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad e cada una de ellas varíe aproximadamente en 1 ½ % entre ellas.
- Ensamblar el molde cilíndrico con la placa de base y determinar el peso.
- Colocar el collar de extensión y el papel filtro para colocar la muestra que se va a compactar.
- Compactar cada muestra en 5 capas y cada capa con 25 ó 56 golpes (depende del método A, B ó C), al terminar de compactar la última capa, se retira el collar de extensión, se

enrasa con la espátula y se determina la densidad húmeda (Dh).

- Determinar el contenido de humedad de cada muestra compactada (w%), utilizando muestras representativas de la parte superior e inferior.
- Determinar la densidad seca de cada muestra compactada.(Ds)

$$D_s = \frac{D_h}{(1+w\%/100)} \quad \dots \text{(Ec.9)}$$

- Dibujar la curva de compactación en escala natural, los datos de contenido de humedad se registra en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas.
- Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

### 2.2.7.3. California Bearing Ratio (CBR).

Según la Norma Técnica Peruana: Método de ensayo de CBR (California Bearing Ratio) de suelos compactados en el laboratorio, (NTP 339.145, 1999), define lo siguiente:

El ensayo de C.B.R. es el más empleado para el diseño de pavimentos, y mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas.

$$C. B. R. = 100 * \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} \quad \dots \text{(Ec.10)}$$

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR, California Bearing Ratio) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California, como una forma de clasificación y evaluación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub-base o material de base en construcciones de carreteras.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, que permite obtener un porcentaje de la relación de soporte. El porcentaje de CBR está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la fuerza necesario para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, una probeta con una muestra estándar de material triturado (Roldán, 2010).

#### **a) Material**

- Muestra alterada seca.
- Papel filtro

#### **b) Equipo y herramientas**

- Equipo CBR.(3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg. de peso y 3 trípodes)
- Pisón próctor modificado
- Balanza con precisión de 1 gr.
- 3 diales de expansión.
- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Recipiente de 6 kg. de capacidad.
- Espátula.
- Taras identificadas

#### **c) Procedimiento**

Consta de 3 fases:

**i. Ensayo de compactación CBR (determinación de la densidad y humedad del suelo)**

- Preparar la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado.
- Compactar la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 13 golpes, el segundo con 27 golpes y el tercero con 56 golpes por capa.
- Determinar la densidad humedad y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Determinar la densidad seca de las muestras de cada molde.

**ii. Ensayo de hinchamiento (Determinación de las propiedades expansivas del material)**

- Invertir las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.
- Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- Colocar los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.

**iii. Ensayo carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración)**

- Después de los 4 días sacar los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejarlos drenar durante 15 minutos.
- Colocar la sobrecarga en cada molde, llevar a la prensa hidráulica, proceder al ensayo de penetración aplicando un

pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min., registrar las lecturas de carga de cada muestra.

- Determinar nuevamente la densidad humedad y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Calcular esfuerzo aplicado correspondiente a cada carga.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \dots \text{(Ec.11)}$$

$\sigma$ : Esfuerzo

P: Carga aplicada

A: Área del pisón

- Dibujar las 03 curvas esfuerzo – deformación correspondiente a las muestras de cada molde, en escala natural, los valores de la deformación se registrará en el eje de abscisas y los valores de los esfuerzos en el eje de ordenadas. Si es necesario se debe corregir las curvas indicando su nuevo origen.
- Determinar los esfuerzos correspondientes a 0.1” y 0.2” de penetración de cada una de las curvas esfuerzo – deformación.
- Determinar los índices CBR para 0.1” y 0.2” de penetración, los cuales se obtienen dividiendo cada valor de esfuerzo correspondiente a 0.1” y 0.2” de la muestra ensayada entre el esfuerzo patrón correspondiente a 0.1” y 0.2”.

$$C.B.R. = 100 * \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} \quad \dots \text{(Ec.10)}$$

- Dibujar las curvas densidad seca versus CBR correspondientes a 0.1” y 0.2” de penetración.
- El índice CBR de diseño es el valor correspondiente a 0.1” y 0.2” de penetración, expresado en porcentaje de su respectivo valor estándar.



- El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1"), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2") es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.
- Si el valor de CBR correspondiente a 0.2" es muy superior al valor de CBR correspondiente a 0.1" deberá repetirse el ensayo para comprobar.

#### **2.2.7.4. Densidad.**

Según Bramón, Casas, Llebot y López, 2006, la densidad se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. Así, como en el Sistema Internacional, la masa se mide en kilogramos (kg) y el volumen en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) la densidad se medirá en kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>). La mayoría de las sustancias tienen densidades similares a las del agua por lo que, de usar esta unidad, se estarían usando siempre números muy grandes. Para evitarlo, se suele emplear otra unidad de medida el gramo por centímetro cúbico (gr/cm<sup>3</sup>).

Un densímetro, es un instrumento que sirve para determinar la densidad relativa de los líquidos sin necesidad de calcular antes su masa y volumen. Normalmente, está hecho de vidrio y consiste en un cilindro hueco con un bulbo pesado en su extremo para que pueda flotar en posición vertical.

El densímetro se introduce gradualmente en el líquido para que flote libremente y verticalmente. A continuación se observa en la escala el punto en el que la superficie del líquido toca el cilindro del densímetro. Los densímetros generalmente contienen una escala de papel dentro de ellos para que se pueda leer directamente la densidad específica.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Estabilización de suelos:** Proceso físico y/o químico por el que se mejora las propiedades físico-mecánicas del suelo natural, con el objetivo de hacerlos estables (NTC E 0.10, 2010).
- **Estabilización Química:** La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas del producto (MTC E 1109, 2004).
- **Suelo:** Conjunto de partículas minerales o de materia orgánica en forma de depósito, generalmente minerales, pero a veces de origen orgánico, que pueden separarse por medio de una acción mecánica sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire (ISO 14689-1, 2008).
- **Maxx-Seal 100:** Es un co-polímero de moléculas de alto peso de vinilo acrílico. Cuando Maxx-Seal 100 es aplicado al suelo, las moléculas de co-polímeros se fusionan y forman los lazos de unión entre el suelo y las partículas de este. El alto peso molecular, y la larga cadena de polímeros forman una matriz resistente que es muy durable y resistente al agua. Los niveles de aplicación más concentrados pueden generar cualidades similares al concreto y son útiles para la solidificación y estabilización del suelo, como el que se encuentra en la construcción de carreteras (LatinSeal, 2009).
- **CBR:** El ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad (NTP, 1999).
- **Arcillas:** Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.002 mm proveniente de la alteración física y química de rocas y minerales (MTC, 2008).

- **Polímeros:** Los polímeros son sustancia compuesta por moléculas caracterizada por la repetición múltiple de una o más especies de átomos (unidades constitutivas), enlazadas entre sí en unas cantidades suficientes para proporcionar un conjunto de propiedades (ISO 472, 2013).
- **SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de suelos (RNE, 2010).

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la hipótesis.

La capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso se incrementa a medida que se incrementa el % de incorporación de Maxxseal 100.

### 3.2. Operacionalización de variables.

Tabla N° 7: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONE S	INDICADORES	ÍNDICE
<b>Independiente</b> estabilizador MAXXSEAL 100	Es un co-polímero de moléculas de alto peso de vinilo acrílico. Cuando MaxxSeal es aplicado al suelo, las moléculas de co-polímeros se fusionan y forman los lazos de unión entre el suelo y las partículas de este (LatinSeal, 2009).	Dosificación de Estabilizador	2% 4% 6%	ML
<b>Dependiente</b> Capacidad Portante (CBR)	El ensayo CBR mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo (NTP, 1999).	Capacidad Portante del Suelo (CBR)	CBR al 0.1" CBR al 0.2" Ensayo de compactación – Proctor Modificado Límites de Atterberg Clasificación de suelos	% CBR  ρ gr/ cm <sup>3</sup> W óptimo (%) % SUCS AASHTO

Fuente: Elaboración propia, 2016

## CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Tipo de diseño de investigación.

**Será del tipo experimental:** En donde la variable independiente que manipulará el investigador serán los niveles de Maxxseal 100 (2%, 4% y 6%) y la variable dependiente en la cual se medirá el efecto será la capacidad portante del suelo (CBR) en estudio.

### 4.2. Material

#### 4.2.1. Unidad de estudio.

Suelo arcilloso para CBR, con incorporación de Maxxseal 100.

#### 4.2.2. Población.

Doce especímenes de suelo arcilloso con incorporación de Maxxseal100.

#### 4.2.3. Muestra.

Igual a la población, tomada de acuerdo a la NTP 339.175, que establece tres especímenes de suelo para el ensayo de CBR.

**Tabla N° 8:** Número de especímenes por ensayo.

ENSAYOS	ESPECÍMENES
MUESTRA PATRÓN	3
CON 2% DE MAXXSEAL 100	3
CON 4% DE MAXXSEAL 100	3
CON 6% DE MAXXSEAL 100	3
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2016

### 4.3. Métodos.

#### 4.3.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos.

**Primero:** se recurrió a campo para la recolección de muestras (suelo arcilloso), estas muestras fueron de la zona de cerrillo.

**Segundo:** Las muestras fueron llevadas al laboratorio para obtener su límite líquido, límite plástico y granulometría, con los valores obtenidos se realizó la clasificación del suelo y se verificó que cumplan las condiciones de un suelo arcilloso según los sistemas SUCS y AASHTO.

**Tercero:** Se realizó el ensayo de proctor modificado y CBR, a cada muestra de suelo natural y con la incorporación de 2, 4 y 6 % del estabilizador Maxxseal 100.

**Cuarto:** Se comparó los resultados de los ensayos para obtener la respuesta a la hipótesis.

## CAPÍTULO 5. DESARROLLO

### 5.1. Procedimiento general.

En la presente tesis se determinó la capacidad portante (CBR) en un suelo arcilloso, después de ser estabilizado con diferentes porcentajes (2%, 4%, 6%) del estabilizador MaxxSeal 100 lo que en teoría le proporcionara características químicas más favorables para uso en ingeniería.

En el mes de abril del 2016 se buscó un suelo arcilloso obtenido de la cantera el cerrillo en el centro poblado el Cerrillo, de la asociación El Rescate del Álamo de los propietarios Jesús de la Cruz Llanos , Abram Romero Llanos y Catalina de la Cruz Chugnas, el material fue trasladado hasta la ciudad de Cajamarca a las instalaciones de la Universidad Privada del Norte, lugar donde fue estudiado en el respectivo laboratorio de la universidad, para obtener su granulometría y límites de consistencia para su clasificación.

Después de haber clasificado el suelo por los sistemas SUCS y AASTHO a través de los ensayos de contenido de humedad, granulometría por lavado y los Límites de Atterberg. Se procedió a realizar los ensayos de Proctor Modificado tanto para la muestra patrón así como para los porcentajes de 2%, 4% y 6% de Maxxseal 100 obteniéndose el óptimo contenido de humedad para cada una de las muestras mencionadas.

Con los contenidos óptimos de humedad se procedió a realizar el ensayo de capacidad portante (CBR) tanto de la muestra patrón como también de las dosificación Maxxseal 100 mencionadas anteriormente para analizar la influencia de esta adición del estabilizador Maxxseal 100 en la capacidad portante del suelo arcilloso analizado.

### 5.2. Ubicación de cantera.

✓ **Ubicación política.**

**País** : Perú  
**Departamento** : Cajamarca  
**Provincia** : Cajamarca  
**Distrito** : Baños del inca

✓ **Ubicación geográfica.**

**Latitud Sur** : Entre 7° 07'42.70" de la línea ecuatorial

**Longitud Oeste** : Entre 78° 29'28.11" del meridiano de Greenwich

✓ **Coordenadas UTM.**

**Tabla N° 9:** Coordenadas UTM del banco de arcilla.

PTO	COORDENADAS UTM		
	ESTE	NORTE	COTA
A	777190	9211176	2703
B	777244	9211271	2708
C	777224	9211374	2714
D	777109	9211414	2706
E	777027	9211216	2703

**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Figura N° 06:** Ubicación del banco de arcillas.



**Fuente:** Google Earth, 2016

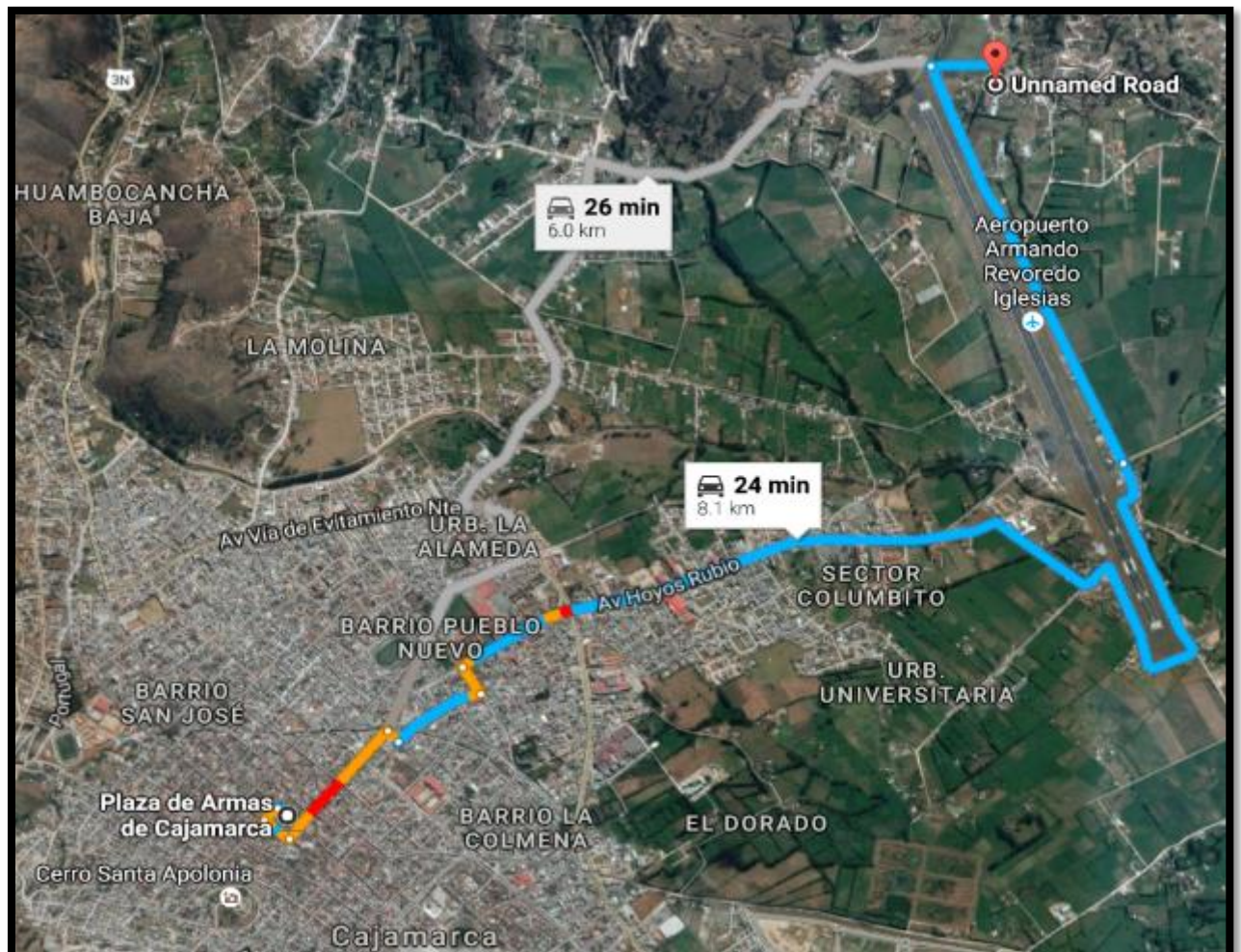


✓ **Acceso a la cantera.**

Como se puede observar en la figura N° 7 se muestra una ruta de acceso a la cantera; el punto de partida será la plaza de armas de Cajamarca.

- Tomamos Dos de Mayo y San Salvador hacia el Delfín Cerna.
- Sigue por Av. Hoyos Rubio hasta llegar al aeropuerto Armando Revoredo Iglesias.
- Llegamos hacia nuestro destino (Cantera) por la medio de un desvío, una trocha que se dirige a la zona el cerrillo

**Figura N° 07:** Acceso a la cantera.



Fuente: Google Maps, 2015

### **5.3. Extracción de la muestra.**

La extracción de la muestra se realizó de manera manual de la cantera el cerrillo en el centro poblado el Cerrillo, de la asociación El Rescate del Álamo, de los propietarios: Jesús de la Cruz Llanos, Abram Romero Llanos y Catalina de la Cruz Chugnas.

### **5.4. Ensayo de contenido de humedad.**

Para realizar el ensayo de contenido de humedad de la muestra patrón se siguió de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma NTP 339.127.

El ensayo se realizó utilizando muestra inalterada aproximadamente 500 gr extraída del banco de arcilla, esta muestra se trasladó al laboratorio de la Universidad Privada del Norte, donde se determinó el contenido de humedad.

### **5.5. Ensayo de análisis granulométrico.**

Este ensayo se realizó solamente para la muestra patrón de acuerdo a la norma NTP 339.128 el cual consiste en el análisis granulométrico por lavado.

Para esta prueba inicialmente se realizó el secado de la muestra, se pesó 500 gr, seguidamente se procedió a lavar el material por el tamiz N° 200 mediante chorro de agua.

El material retenido en la malla N° 200 se retiró en un recipiente y se dejó secar. Luego se dejó pasar la muestra seca por el juego de tamices, agitando de forma manual. Finalmente se determinó en gabinete los porcentajes acumulados que pasaron en cada tamiz y se dibujó la curva granulométrica a escala semilogarítmica.

### **5.6. Ensayo de límite líquido y plástico.**

Este ensayo se realizó para la muestra patrón y los distintos porcentajes del estabilizador Maxxseal 100, se realizaron de acuerdo a la norma NTP 339.129.

### **5.6.1. Límite líquido.**

Primero para este ensayo se preparó muestra pasante por el tamiz N° 40, seguidamente en una cápsula de porcelana se mezcló el suelo con agua mediante una espátula hasta obtener una pasta uniforme para posteriormente colocar una porción de la pasta en la copa de Casagrande, la cual estuvo nivelada mediante la espátula con un espesor de 1 cm. En el centro realizó una ranura con el acanalador de tal manera que la muestra quedo dividida en dos partes.

A continuación se dejó elevar y caer la copa de Casagrande mediante la manivela. Posteriormente retire la muestra de la copa de Casagrande y la coloque en taras las cuales fueron pesadas con la muestra y colocadas en el horno por 24 horas para obtener los contenidos de humedad de la muestra.

En gabinete se realizó la gráfica de fluidez determinando la ordenada correspondiente a los 25 golpes, este valor obtenido fue el límite líquido del suelo.

El ensayo mencionado se realizó tres veces para obtener una humedad promedio y así hacer más preciso el resultado obtenido.

### **5.6.2. Límite plástico.**

Se preparó material pasante por la malla N°40 a este material en una capsula de porcelana se le añadió agua y suelo seco para obtener una muestra con bajo contenido de humedad. Luego con la mano se enrolló la muestra sobre una placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3 mm de diámetro y que presenten agrietamientos, seguidamente se colocó las muestras en taras las cuales se colocaron en el horno por 24 horas para luego proceder a determinar su contenido de humedad de cada una de las muestras.

El ensayo se realizó dos veces para obtener una humedad promedio y así hacer más preciso el resultado obtenido.

### **5.7. Clasificación SUCS**

La clasificación de suelo sólo se realizó a la muestra patrón teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de análisis granulométrico, límite líquido y plástico. El procedimiento de clasificación de suelos de granos finos (50% o más pasa por 0,075 mm) se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.134, donde inicialmente se comprobó mediante el análisis granulométrico que más del 50% pasa por 0.075 mm seguidamente en la cartilla de clasificación se introdujo los datos obtenidos de índice de plasticidad versus el límite líquido logrando finalmente la clasificación de la muestra en estudio.

### **5.8. Clasificación AASHTO**

La clasificación de suelo sólo se realizó a la muestra patrón teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de análisis granulométrico, límite líquido y plástico.

Primeramente se comprobó mediante el análisis granulométrico que más del 35% pasa por el tamiz N° 200, luego con el límite líquido y el índice de plasticidad se determinó el grupo y finalmente se determina el índice de grupo

### **5.9. Método de incorporación del estabilizador Maxxseal 100 en el suelo.**

El método para la incorporación del estabilizador Maxxseal 100 en el suelo que se utilizó fue el porcentaje en función al peso seco. De la ficha técnica del producto se obtuvo el peso específico de  $1.084 \text{ gr/cm}^3$ .

Mediante una regla de tres simple se determina la cantidad de suelo para los distintos porcentajes (2%, 4% y 6%), este se divide por el peso específico del estabilizador y esta es la cantidad de solución a incorporar.

### **5.10. Ensayo de compactación Proctor Modificado**

El ensayo de proctor modificado se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.141 por el Método "A", ya que el % retenido en la N° 4 es menor a 20%; donde inicialmente se preparó muestra seca aproximadamente 25 kg por ensayo. Este ensayo se realizó tanto a la muestra patrón, como a los distintos porcentajes del estabilizador Maxxseal 100.

Para realizar este ensayo se preparó 4 muestras de 3 kilos cada una con un determinado contenido de agua.

Preparadas ya las muestras antes mencionadas se procedió a colocarlas en el respectivo molde standard para seguidamente compactar cada muestra en 5 capas y cada capa con 25 golpes de acuerdo al método A, al finalizar la compactación de la última capa, se retiró el collar de extensión, se procedió a enrasar con la espátula y determinar la densidad húmeda. Además se determinó el contenido de humedad de cada muestra compactada, utilizando muestras representativas de la parte superior.

Ya en gabinete se dibujó la curva de compactación en escala natural, los datos de contenido de humedad se registró en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas. Con la gráfica ya desarrollada se determinó la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad los cuales sirvieron posteriormente como datos esenciales para el desarrollo del ensayo de CBR.

### **5.11. Ensayo de CBR (valor soporte california)**

El ensayo de CBR se desarrolló de acuerdo a la norma NTP 339.145, para suelos cohesivos a estos suelos les afecta la humedad de compactación y la densidad obtenida, por lo que se las ensayo cada muestra después de colocarlas en agua durante 4 días. Este ensayo se desarrolló en tres partes las cuales se mencionan a continuación:

#### **5.11.1. Ensayo de Compactación CBR.**

Primero se prepararon las muestras con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación proctor modificado. Cada muestra se compacto en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 13 golpes, el segundo con 27 golpes y el tercero con 56 golpes por capa; en gabinete se determinaron la densidad húmeda, los contenidos de humedad y la densidad seca de las muestras de cada molde.

### **5.11.2. Ensayo de hinchamiento.**

Realizado el ensayo de compactación de las muestras se procedió invertir las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.

Se colocó sobre cada muestra un papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión y seguidamente se colocaron los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.

### **5.11.3. Ensayo de carga –penetración.**

Pasado los 4 días de sumergidas las muestras, se sacaron los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos se retira el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, y se los dejó drenar durante 15 minutos.

Seguidamente se procedió colocar la sobrecarga en cada molde, y se las llevó a la prensa hidráulica, se realizó el ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min., se registró cada una de las lecturas de carga de cada muestra. Una vez finalizado el ensayo se procedió a determinar nuevamente la densidad humedad y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.

Ya en gabinete se realizó el dibujo de las 03 curvas esfuerzo – deformación correspondiente a las muestras de cada molde, en escala natural, los valores de la deformación se registraron en el eje de abscisas y los valores de los esfuerzos en el eje de ordenadas. Seguidamente se determinaron los esfuerzos correspondientes a 0.1" y 0.2" de penetración de cada una de las curvas esfuerzo – deformación, además de determinar los índices CBR para 0.1" y 0.2" de penetración, los cuales se obtienen dividiendo cada valor de esfuerzo correspondiente a 0.1" y 0.2" de la muestra ensayada entre el esfuerzo patrón correspondiente a 0.1" y 0.2".

Se procedió a dibujar las curvas densidad seca versus CBR correspondientes a 0.1" y 0.2" de penetración. Y por último se determinó el índice CBR de diseño es el valor correspondiente a 0.1" y 0.2" de penetración, expresado en porcentaje de su respectivo valor estándar.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

### 6.1. Contenido de humedad de la muestra.

Se determinó que el contenido de humedad promedio de muestra es de 27.6 %.

### 6.2. Análisis granulométrico.

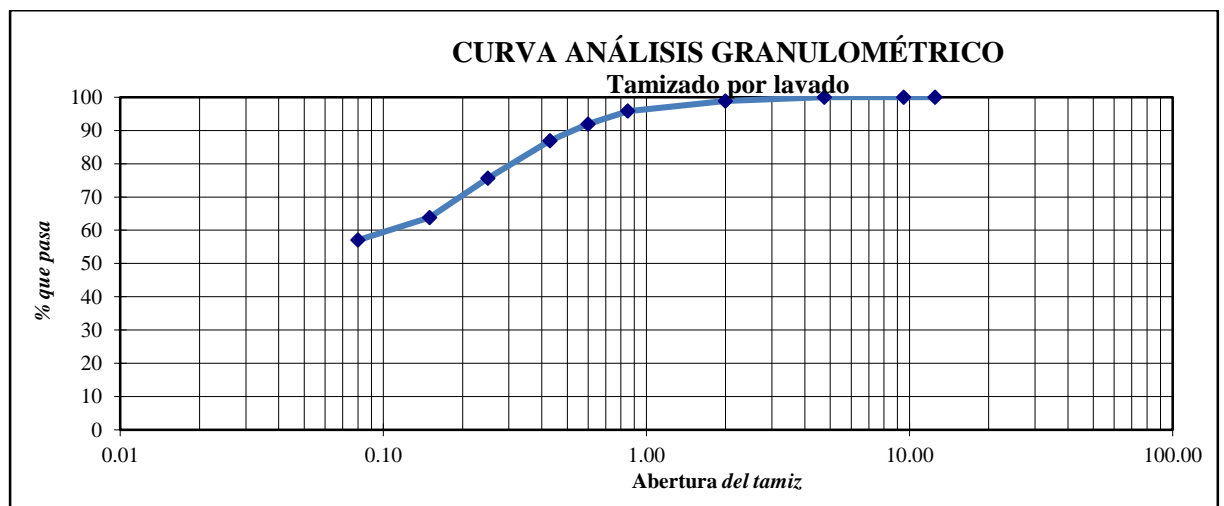
A continuación se muestra los porcentajes pasantes por cada tamiz obtenidos mediante el análisis granulométrico por lavado.

**Tabla N° 10:** Resultados de ensayo análisis granulométrico por lavado

TAMIZ N°	% QUE PASA
2"	100.00
1/2"	100.00
1"	100.00
3/4"	100.00
1/2"	100.00
3/8"	100.00
N°4	100.00
N°10	98.82
N°20	95.80
N°30	91.90
N°40	86.92
N°60	75.66
N°100	63.84
N°200	57.04
CAZOLETA	0.00

**Fuente:** Elaboración propia, 2016.

**Figura N° 08:** Curva de análisis granulométrico por lavado



Fuente: Elaboración propia, 2016

### 6.3. Ensayo de límites de Atterberg.

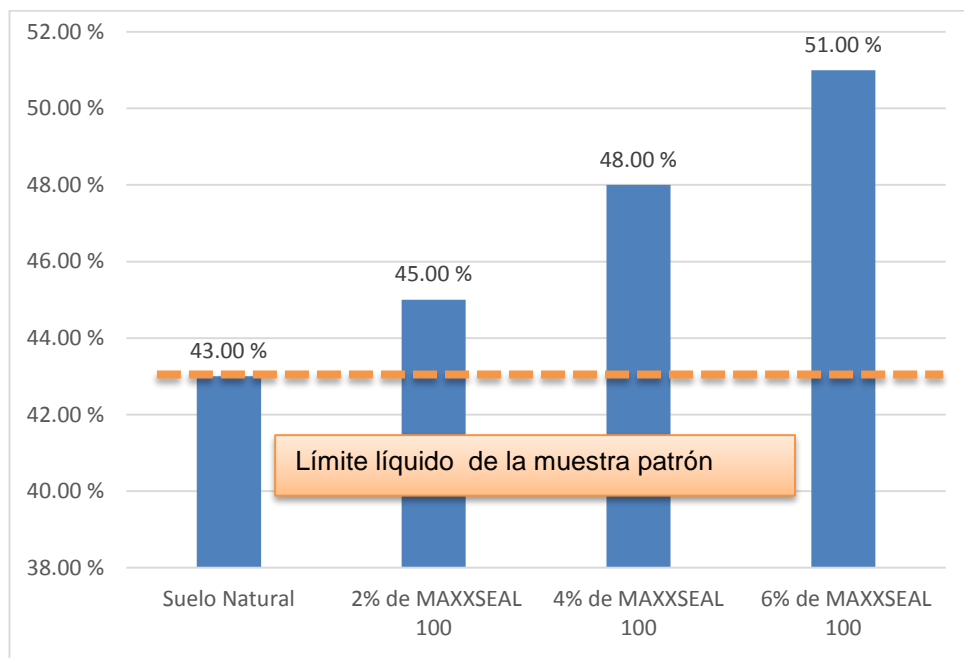
Se determinó para la muestra patrón el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad para la muestra patrón y para los porcentajes de 2%, 4% y 6%.

Tabla N° 11: Cuadro comparativo de los ensayos de límites de atterberg.

ENSAYOS		SUELO NATURAL	2% DE MAXXSEAL 100	4% DE MAXXSEAL 100	6% DE MAXXSEAL 100
LÍMITES DE ATTERBERG	Límite líquido	43.00 %	45.00 %	48.00 %	51.00 %
	Límite Plástico	24.00 %	29.00 %	35.00 %	41.00 %
	Índice de Plasticidad	19.00 %	16.00 %	13.00 %	10.00 %

Fuente: Elaboración propia, 2016

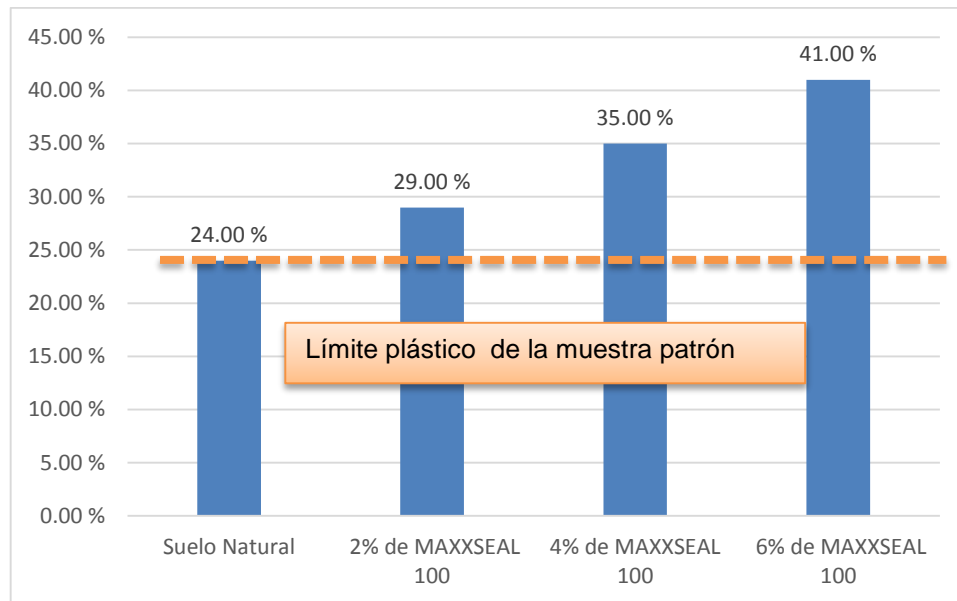
Figura N° 09: Comparación de los resultados de límite líquido.



Fuente: Elaboración propia, 2016

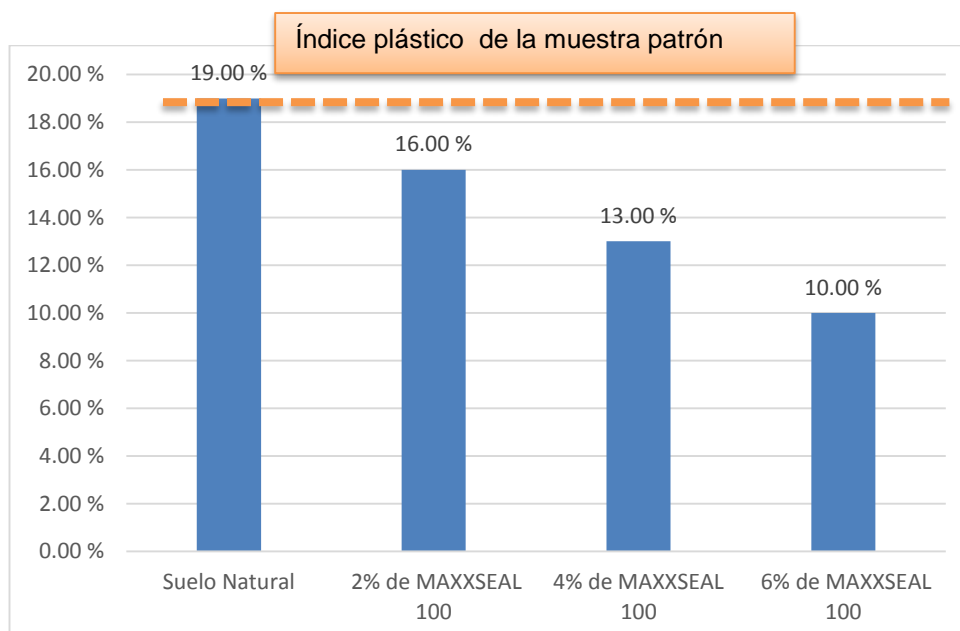


**Figura N° 10:** Comparación de los resultados de límite plástico.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Figura N° 11:** Comparación de los resultados del índice plástico.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

#### 6.4. Clasificación SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos).

Realizado los ensayos de límites de Atterberg y análisis granulométrico por lavado se procedió a clasificar mediante el sistema unificado de clasificación de suelos utilizando la carta de plasticidad del suelo en estudio obteniéndose una arcilla de baja a media plasticidad (CL).

#### 6.5. Clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials ).

Realizado los ensayos de límites de Atterberg y análisis granulométrico por lavado se procedió a clasificar mediante el sistema AASHTO del suelo en estudio obteniéndose un suelo arcilloso A-7-6 (5)

#### 6.6. Ensayo de proctor modificado y CBR.

Después de haber culminado los ensayos de laboratorio y procesamiento de datos se realizó este cuadro comparativo de los ensayos realizados y el suelo con Maxxseal 100 con diferentes porcentajes.

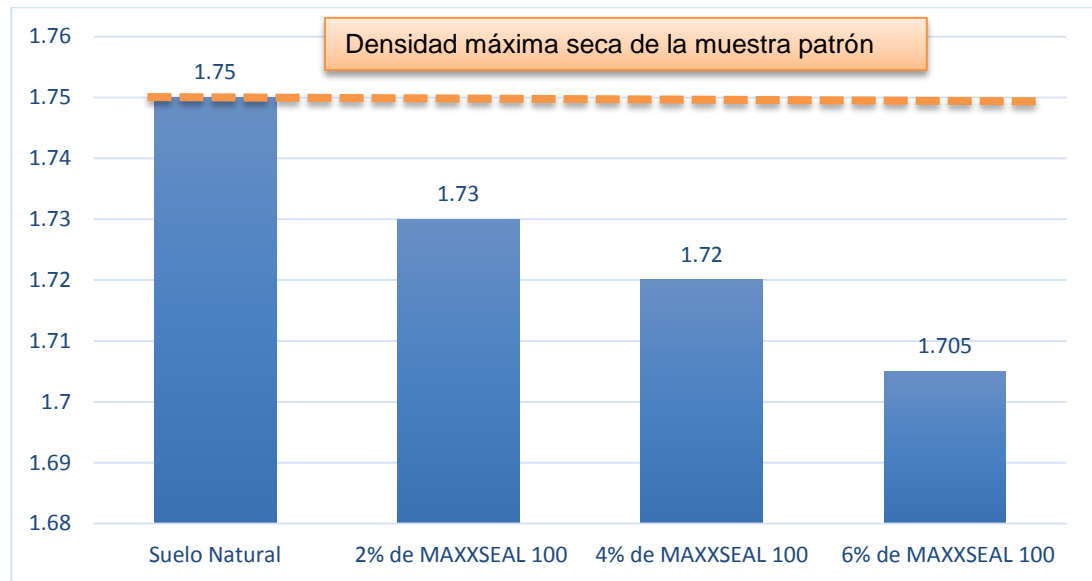
**Tabla N° 12:** Cuadro comparativo de los ensayos de proctor modificado y CBR

ENSAYOS		Suelo Natural	Suelo Natural con 2% de MAXXSEAL 100	Suelo Natural con 4% de MAXXSEAL 100	Suelo Natural con 6% de MAXXSEAL 100
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>	Densidad max. Seca	1.75	1.73	1.72	1.705
	OCH	18.12%	16.44	{16.16	15.04
<b>CBR</b>	CBR al 95% a 0.1"	5.10%	7.00%	9.60%	11.00%
	CBR al 95% a 0.2"	5.40%	7.30%	10.10%	11.70%

**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Densidad Máxima Seca.** Con respecto a los resultados obtenidos sobre densidad seca esta presenta una ligera disminución a mayor sea la dosificación del estabilizador Maxxseal 100.

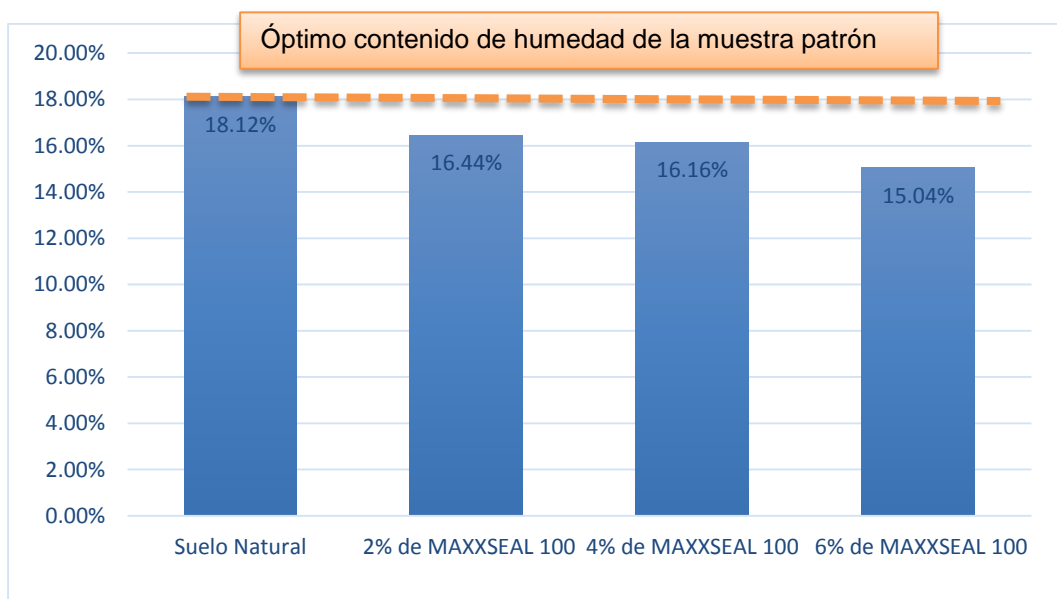
**Figura N° 12:** Comparación de los resultados de densidad máxima seca



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Óptimo contenido de humedad.** En la siguiente figura N° 10 se puede observar que el óptimo contenido de humedad disminuye al aumentar la dosificación de Maxxseal 100.

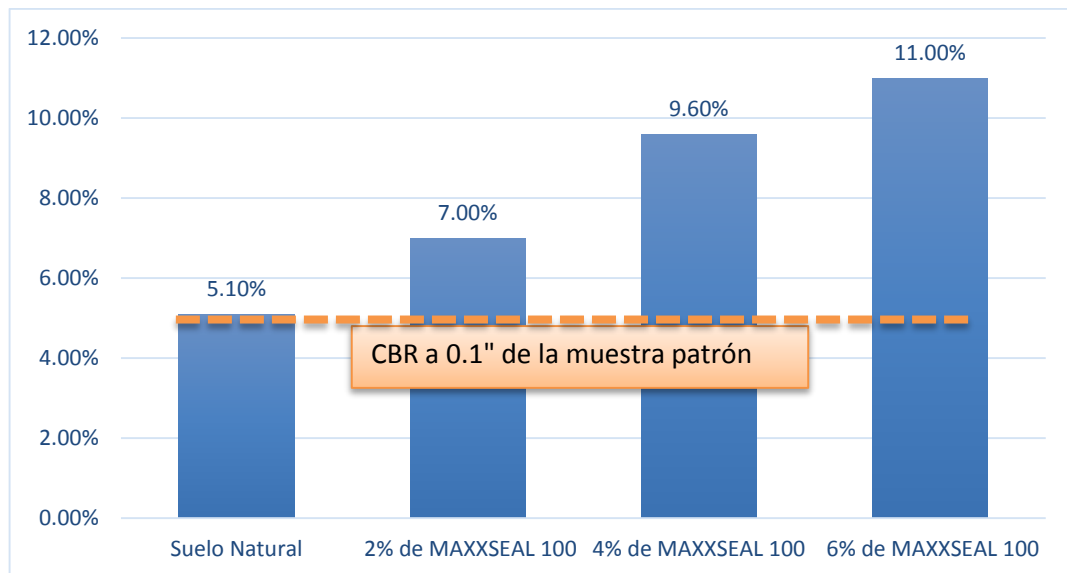
**Figura N° 13:** Comparación de los resultados del óptimo contenido de humedad.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

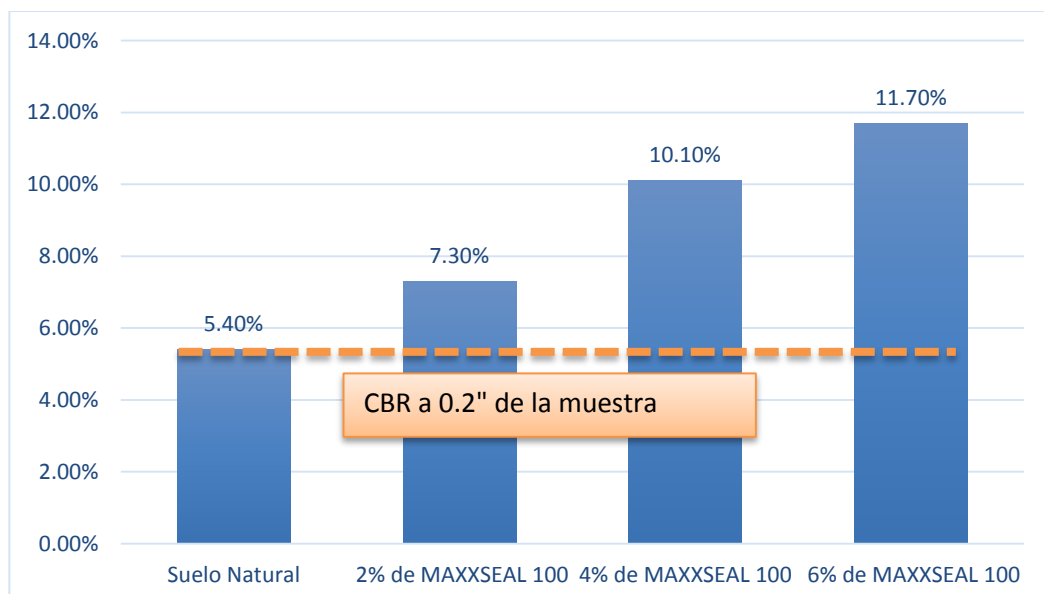
**California Bearing Ratio (CBR).** En la figura 11 y 12 se puede observar que el CBR aumenta al aumentar la dosificación de Maxxseal 100.

**Figura N° 14:** Comparación de resultados del CBR a 0.1”



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Figura N° 15:** Comparación de resultados de CBR a 0.2”

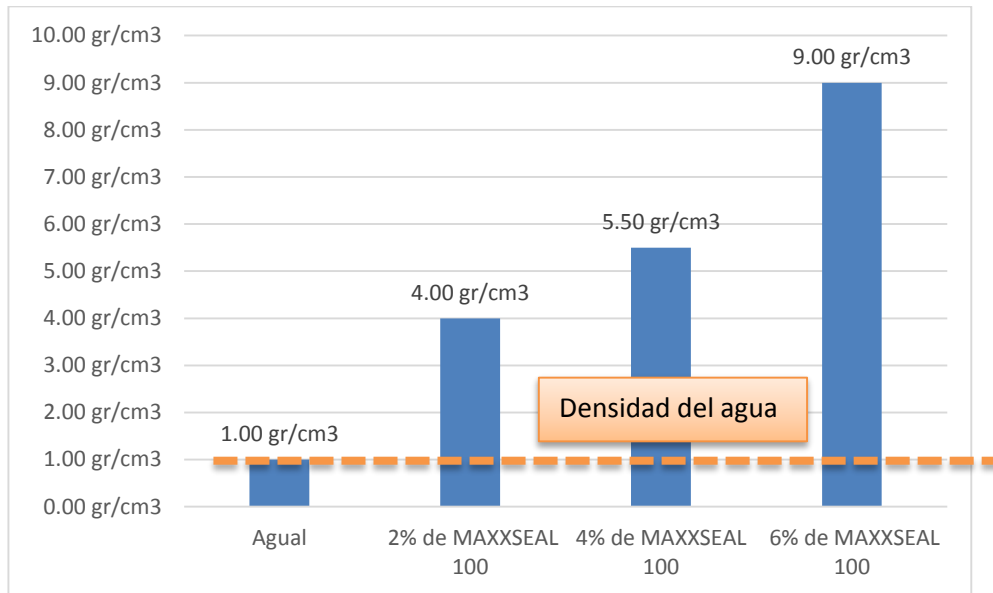


**Fuente:** Elaboración propia, 2016

### 6.7. Densidad.

En la figura 16 se puede observar que la densidad aumenta al aumentar la dosificación de Maxxseal 100.

**Figura N° 16: Comparación de la densidad.**



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

## CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Límites de atterberg.

Al realizar los límites de atterberg se observó que el límite líquido y el límite plástico aumenta a medida que aumentamos la cantidad del estabilizador maxxseal 100, mientras que el índice de plasticidad disminuye.

Al incrementar el porcentaje del estabilizador Maxxseal 100, en el límite líquido se genera una relación directamente proporcional; de 45% sin aditivo a 51% con la incorporación de 6% del estabilizador Maxxseal 100; convirtiéndole de un suelo de plasticidad intermedia, a un suelo con alta plasticidad como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla N° 13:** Clasificación de la plasticidad según el límite líquido

<i>Plasticidad</i>	<i>Límite líquido</i>
<i>Baja plasticidad</i>	<35%
<i>Plasticidad intermedia</i>	35%-50%
<i>Alta plasticidad</i>	50%-70%
<i>Plasticidad muy alta</i>	70%-90%
<i>Plasticidad extremadamente alta</i>	>90%

**Fuente:** Badillo, 2008.

### 7.2. Proctor modificado

En este ensayo se obtuvo resultados tanto de la densidad seca máxima como también el óptimo contenido de humedad, al incrementar el porcentaje del estabilizador Maxxseal 100 la densidad máxima seca presenta una ligera disminución de  $1.75 \text{ gr/cm}^3$  sin aditivo a  $1.705 \text{ gr/cm}^3$  con la incorporación de 6% del estabilizador Maxxseal 100, esta tendencia es semejante a la informada por Ugaz, Tapia y Alvaro (2001) en la investigación que realizaron denominada "Ensayos de estabilización de suelos con el aditivo Rbi-81". Con la incorporación del estabilizador Maxxseal 100 en los porcentajes de 2%, 4% y 6% se presenta una disminución de la densidad seca máxima sin que esto afecte a la resistencia del material, por lo contrario se genera una relación inversamente proporcional: mientras la densidad seca máxima disminuye la resistencia aumenta. La disminución de la

densidad máxima seca se debe, que al disolver el estabilizador en el agua aumenta la densidad del agua; de  $1 \text{ gr/cm}^3$  sin aditivo (solo agua) a  $9 \text{ gr/cm}^3$  con la incorporación de 6% del estabilizador Maxxseal 100.

El contenido óptimo de humedad presenta una disminución de 18.12 % sin aditivo a 15.04 % con la incorporación de 6% del estabilizador Maxxseal 100, estos resultados son semejantes a los obtenidos por López (2010), en su estudio denominado polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. El autor señala que al realizar el ensayo de proctor modificado en el suelo natural, se obtuvo un peso específico seco máximo de  $1.347 \text{ ton/cm}^3$  y humedad óptima de 32%. Para la mezcla suelo-polímero, el peso específico seco máximo fue de  $1.327 \text{ ton/cm}^3$  y humedad óptima de 31%; esta tendencia es ratificada por Rodríguez, Rondón, Vélez y Aguirre (2006) en su estudio influencia de la Inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo sub-base, donde señalan que el óptimo contenido de humedad disminuye de 7.68 % sin aditivo a 6.48% con la adición de 5% de desechos de PVC; la densidad seca disminuye de  $2.07 \text{ gr/cm}^3$  sin aditivo a  $2.04 \text{ gr/cm}^3$  con la adición de 5% de desechos de PVC.

### 7.3. California Bearing Ratio (CBR)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo CBR (California Bearing Ratio) se puede apreciar que el valor CBR aumenta, esto afirma la hipótesis planteada, que la capacidad portante (CBR) de un suelo arcilloso se incrementa a medida que se incrementa el % de incorporación de Maxxseal 100 y se obtiene la máxima capacidad (dos veces superior a la del control) con 6% del estabilizador.

El aumento del CBR se debe a que cuando el estabilizador Maxx-Seal es aplicado al suelo, las moléculas de co-polímeros se fusionan y forman los lazos de unión entre el suelo y las partículas de este. El alto peso molecular, y la larga cadena de polímeros forman una matriz resistente que es muy durable y resistente al agua.

La tendencia del CBR es semejante a la informada por Rabines (2010) en su estudio denominado pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras, concluye que luego de ensayar muestras en un suelo de

clasificación CL (SUCS) existe un aumento de CBR, hasta el 200%, lo que es dos veces superior a la muestra patrón . Rodríguez et.al.,(2006) en su estudio influencia de la Inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo sub-base también presenta resultados parecidos y concluye que el CBR de una mezcla de material granular, tipo sub-base, y material de desecho, presenta un incremento notable; el suelo sin aditivo presenta un CBR de 70.67% el cual se incrementó a 129.97 % con la adición de 5% de desechos de PVC.

Desde el punto de vista de su resistencia al corte, si un material pretende emplearse en la construcción de terraplenes para carreteras, es o no adecuado sabiendo su CBR. Al incrementar el porcentaje del estabilizador Maxxseal 100, se genera una relación directamente proporcional con el CBR; por ejemplo a un CBR a 0.1” con la muestra patrón un CBR de 5.10%, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11%; en base a los valores de la siguiente tabla, el suelo arcilloso de subrasante mala ha pasado a ser una subrasante regular a buena.

**Tabla N° 14:** Relación entre el CBR y la calidad del material para usarse en terraplenes

<i>Clasificación</i>	<i>CBR(%)</i>
<i>Subrasante muy mala</i>	0-5
<i>Subrasante mala</i>	5-10
<i>Subrasante regular a buena</i>	10-20
<i>Subrasante muy buena</i>	20-30
<i>Sub-base buena</i>	30-50
<i>Base buena</i>	50-80
<i>Base muy buena</i>	80-100

**Fuente:** Crespo, 2012



## CONCLUSIONES

1. La hipótesis planteada en la investigación, ha sido demostrada, generando una relación directamente proporcional, a medida que se incrementa el % del estabilizado Maxxseal 100 en un suelo arcilloso, se incrementa la capacidad portante (CBR).
2. La capacidad portante (CBR) del suelo arcilloso estabilizado con de 2%, 4%, y 6% de Maxxseal 100, se obtuvo los siguientes valores para un CBR a 0.1" con la muestra patrón un CBR de 5.10%, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7 %, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 9.60 %, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11%; para un CBR al 0.2", con la muestra patrón un CBR de 5.40 %, incorporando el 2% de Maxxseal 100 un CBR de 7.30 %, incorporando el 4% de Maxxseal 100 un CBR de 10.10 %, incorporando 6% de Maxxseal 100 un CBR de 11.70%.
3. Se determinó que el suelo en estudio es una arcilla de baja a media plasticidad (CL) mediante la clasificación SUCS y según el sistema de clasificación AASHTO pertenece al grupo A-7-6 (5) correspondiente a un suelo arcilloso.
4. Se determinó la variación del índice de plasticidad, el cual fue disminuyendo al incorporarle mayor porcentaje del estabilizador maxxseal 100, teniendo así un índice de plasticidad: con suelos natural un IP de 19%, incorporándole 2% de maxxseal 100 un IP de 16%, incorporándole 4% de maxxseal 100 un IP de 13%, incorporándole 6% de maxxseal 100 un IP de 10%.
5. Se determinó los parámetros de compactación de suelo los cuales fueron la densidad seca y el óptimo contenido de humedad, para la primera ésta presenta una ligera disminución de  $1.75 \text{ gr/cm}^3$  (muestra patrón) a  $1.705 \text{ gr/cm}^3$  (6% de Maxxseal 100), la misma tendencia presenta el óptimo contenido de humedad, para la muestra patrón se obtuvo 18.12%, en la dosificación de 6% de Maxxseal 100 esta disminuyo a 15.04%.

## RECOMENDACIONES

1. Investigar el comportamiento de distintos tipos de suelos frente a la adición de Maxxseal 100.
2. Investigar la capacidad portante (CBR) del mismo suelo adicionando porcentajes mayores a 6% de Maxxseal 100, con el fin de determinar los óptimos niveles de incorporación.

## REFERENCIAS

1. Areizaga, J., Cortázar, M., Elorza, J.M. & Iruin, J.J. (1992). *Polímeros*. Madrid: Síntesis.
2. Asociación americana de constructores carreteras. (2004). *Manual de estabilización y modificación con cal*. National Lime Association.
3. ASTM D 3282 (1973)- *Clasificación AASHTO*.
4. Badillo, E. J. (2008). *Mecánica de suelos*. Mexico: Limusa S.A.
5. Bañon Blazquez, L. (2010). *Manual de carreteras*. Madrid: Vaquero servicios de publicaciones S.L.
6. Braja M, D. (1998). *Principles of geotechnical engineering*. (4.<sup>a</sup> ed.). España: ITP.
7. Bramón Planas, A., Casas Vázquez, J., Llebot Rabagliati, J. & López Aguilar, F. (2006). *Física para la ciencia y la tecnología*. Barcelona: Reverte.
8. Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa.
9. Crespo Villalaz, C. (2012). *Problemas resuelto de mecánica de suelos y de cimentaciones*. México: Limusa.
10. Fratelli, M. G. (1993). *Suelos, fundaciones y muros*. Venezuela: Print book.
11. García Gonzales, A. (2015). *Determinación de la resistencia de la sub-rasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca*. (Tesis de Título). Universidad Privada del Norte.
12. George B, S. & George F, S. (1976). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. Mexico: Limusa.
13. Huanca Borda, A. (2009). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Wilber cutimbo choque.

14. INDECI. (2005). *Programa de prevención y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Cajamarca.*
15. ISO 14689-1 (2008)-Investigación y ensayos geotécnicos.
16. ISO 472-Plastics Vocabulary.
17. LatinSeal. (2009). *Maxx-Seal 100.*
18. López Lara, T. (2010). *Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. Revista Iberoamericana de Polímeros* , 11(3) pp.159-168.
19. MTC E 1109 (2004) - Norma técnica de estabilizadores químicos.
20. MTC(2008)-Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
21. NTP 339.127 (1999) – *Contenido de humedad.*
22. NTP 339.128 (1999) – *Análisis granulométrico.*
23. NTP 339.129 (1999) – *Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.*
24. NTP 339.134 (1999) – *Clasificación SUCS.*
25. NTP 339.141 (1999) – *Método de ensayo Proctor modificado.*
26. NTP 339.145 (1999) – *Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de california) de suelos compactados en laboratorio.*
27. Piqueras, V. (2014). *Estabilización de suelos-Universidad Politecnica de Valencia.*
28. PNUD. (2009). *Programa de las naciones unidas para el desarrollo.*
29. Rabanal Pajares, J. (2014). *Análisis del estado de conservación del pavimento flexible en la Vía de Evitamiento Norte, utilizando el método del índice de condición del pavimento.Cajamarca* . (Tesis de Título ). Universidad Privada del Norte.

30. Ravines Merino, M. (2010). *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. (Tesis de Título ). Universidad de Piura, Perú.
31. Rico Rodriguez, A. (2005). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres 2: carretera, ferrocarriles y autopistas*. México: Limusa.
32. RNE (2010)-*Pavimentos urbanos*.
33. Rodriguez Rincón , E., Rondón Quintana, H., Vélez Pizón , D., & Aguirre Aguirre, L. (2006). *Influencia de la inclusión de desechos de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase*. En Revista Ingenierías Universidad de Medellin.5(9) pp.21-30.
34. Rojas Foinquinos, j., & Alva Hurtado, J. (2005). *Arcillas y lutitas expansivas en el norte y nororiente peruano*. Lima: Universidad nacional de ingeniería.
35. Roldán de Paz, J. (2010). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio (nacl) para bases y sub bases*. (Tesis de Título ). Universidad de San Carlos de Guatemala.
36. Romero Zepeda, J. (2008). *Modelo de cimentaciones sobre suelos altamente expansivos* . (Tesis de Maestro ). Universidad Autónoma de Querétaro.
37. Silva Arce, M. (2016). *Mejoramiento de la subrasante con geomallas multiaxiales tipo TX140 y TX160, aplicado a un tramo de la calle Alemania-la Molina-Cajamarca*. (Tesis de Título ). Universidad Privada del Norte.
38. Ugaz Palomino , R., Tupia Córdova , C., & Alva Urtado, J. (Noviembre, 2001). *Ensayo de estabilización de suelos con el aditivo RBI-81-XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil*. Puno.
39. Valdez Guzmán, C. (2008). *Estudio comparativo de estabilizacion de un suelo arcilloso altamente expansivo, utilizando un co-polimero multienzimatico* . (Tesis de Título ). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo México.

40. Valle Areas, W. (2010). *Estabilización de suelos arcillosos plásticos con minrerallizadores en ambientes sulfatos o yesímeros* .(Tesis de Maestría).Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

## ANEXOS

## **FICHA TÉCNICA DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100**





5210 Hovis Rd. Charlotte, NC, 28208  
Office: 704-392-5983 Fax: 704-392-4427

### Technical Data Sheet

## Maxxseal 100

Maxxseal 100 is a vinyl acrylic copolymer emulsion used in soil and aggregate stabilization. Maxxseal 100 is a dries flexible, yet hard and clear and has excellent durability properties. Maxxseal 100 is non-hazardous and has no negative environmental impact. The polymer dries to a clear state that preserves the natural look of native soils.

TYPICAL PROPERTIES	
Type	Vinyl-Acrylic Emulsion Polymer
Solids	55%
Viscosity	Less than 1000 cps, #3/100 rpm
pH	4.0 – 5.0
T <sub>g</sub>	7°C
MFFT	<0°C
Particle Size	0.47 microns
Surfactant Charge	Nonionic/Anionic
Weight/Gallon	9.05 lbs/gal
Bulking Value	0.1105 gal/lb
Freeze Thaw Stability	Do Not Freeze

*Let MCTRON Technologies raise your expectations.*

McTron Technologies, LLC Technical Support Team is available to provide assistance with the formulation of all our products to optimally suit your specific needs.

McTron Technologies, LLC Guarantee

If any product is defective in workmanship or materials, McTron Technologies, LLC will replace the product, or refund the full purchase price. This warranty is in place of all other warrants, expressed or implied, and all implied warrants of a product for an intended use shall be solely up to the user. McTron Technologies, LLC assumes no liability for consequential damages. Its liability shall in no event exceed the purchase price of materials, supplied by it.

## PANEL FOTOGRÁFICO

**Fotografía N° 01:** Identificación y recolección de la muestra de la cantera el cerrillo junto con un propietario de la asociación El Rescate Del Álamo.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 02 y N° 03:** Se observa la muestra para la elaboración del contenido óptimo de humedad y seguidamente se determinó el peso del contenedor y del material húmedo.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 4:** Colocación del material húmedo y el contenedor en el horno.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 5:** Se determinó el peso del contenedor y el material secado al homo.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 6:** Secado al aire las muestras obtenidas del banco de arcilla para su posterior chancado con la comba de goma.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 7:** Tamizado del material por la malla N° 4 para el ensayo de límites de Atterberg.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 8 y N° 9:** Realización del ensayo de límites de Atterberg.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 10 y N° 11:** Muestras obtenidas del límite plástico y límite líquido



**Fuente:** Elaboración propia, 2016



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 12 :** Se realiza el tamizado para el ensayo del análisis granulométrico.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 13:** Se puede apreciar a la tesista realizando el análisis granulométrico mediante lavado de la malla N ° 20



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 14:** Se observa a la tesista mezclando la muestra con un porcentaje de agua para el proctor modificado.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 15:** En la fotografía se aprecia al tesista junto con su asesora, realizando la compactación de la muestra para el ensayo de proctor modificado.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016



**Fotografía N° 16:** Se observa a la tesista mezclando el estabilizador Maxxseal 100 en función con el agua en distintos porcentajes para el ensayo de proctor modificado.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 17:** Se observa a la tesista mezclando el estabilizador Maxxseal 100 con el suelo y el agua.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 18:** Se aprecia al tesista realizando el ensayo de compactación de los moldes de CBR.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 19:** Se aprecia los moldes resultados del ensayo de compactación de los moldes de CBR.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 20:** Se aprecia al laboratorista preparando los moldes para el ensayo de hinchamiento.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 21 :** Se aprecia los moldes , a los cuales se les ha retirado el trípode , la sobrecarga y la placa de expansión para dejarlo drenar por un periodo de 15 minutos para posteriormente realizar el ensayo de penetración.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 22:** Se aprecia al laboratorista preparando la prensa hidráulica para el ensayo de penetración.



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

**Fotografía N° 23:** Se observa a la tesista determinando la densidad del agua más el estabilizador Maxxseal 100








**Fuente:** Elaboración propia, 2016

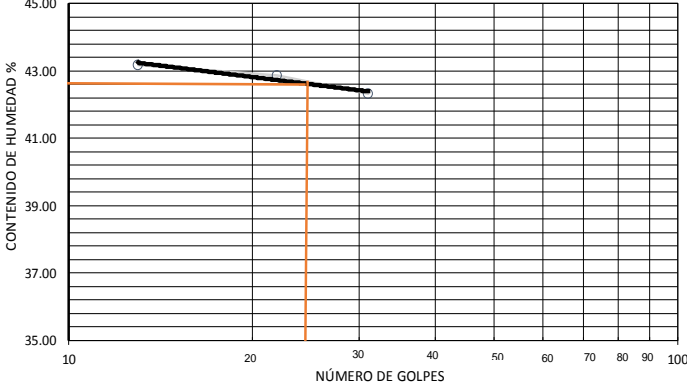



**Fuente:** Elaboración propia, 2016

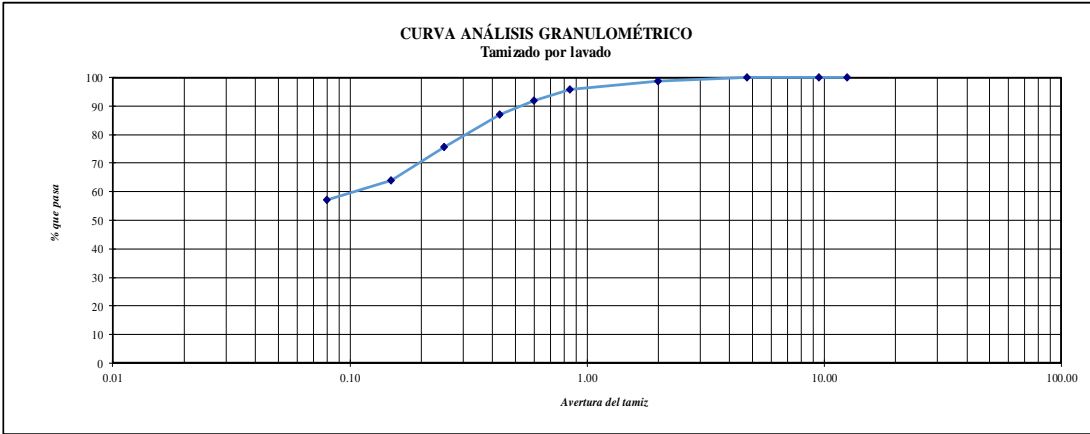
## PROTOCOLO DE ENSAYOS


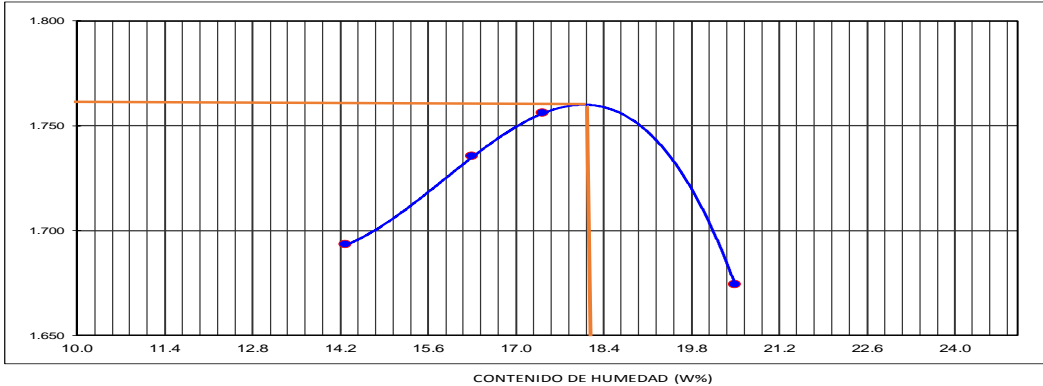
	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>																															
	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																															
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.																													
	Investigador :		Karen Estefany Palomino Terán																													
Protocolo:		N° 1	Hoja: 1	de: 1																												
<b>OBTENCIÓN DE LA MUESTRA</b>																																
TIPO DE MATERIAL		ARCILLAS																														
CANTERA		EL CERRILLO																														
ASOCIACIÓN		EL RESCATE DEL ALAMO S R																														
FECHA DE OBTENCIÓN DEL MATERIAL		19/04/2016																														
<b>COLECCIÓN DE MUESTRA</b>																																
<p>LA COMPRA DEL SUELO ARCILLOSO SE HIZO EN LA CANTERA EL CERRILLO LUGAR BAÑOS DEL INCA</p>																																
			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">COORDENADAS UTM</th> </tr> <tr> <th>PTO</th> <th>ESTE</th> <th>NORTE</th> <th>COTA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>777190</td> <td>9211176</td> <td>2703</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>777244</td> <td>9211271</td> <td>2708</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>777224</td> <td>9211374</td> <td>2714</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>777109</td> <td>9211414</td> <td>2706</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>777027</td> <td>9211216</td> <td>2703</td> </tr> </tbody> </table>		COORDENADAS UTM				PTO	ESTE	NORTE	COTA	A	777190	9211176	2703	B	777244	9211271	2708	C	777224	9211374	2714	D	777109	9211414	2706	E	777027	9211216	2703
COORDENADAS UTM																																
PTO	ESTE	NORTE	COTA																													
A	777190	9211176	2703																													
B	777244	9211271	2708																													
C	777224	9211374	2714																													
D	777109	9211414	2706																													
E	777027	9211216	2703																													
<p>OBTENCIÓN DE LA MUESTRA</p> 																																
<b>OBSERVACIONES - COMENTARIO</b>																																
<b>APROBACIÓN</b>																																
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera																										
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga																									
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:																										
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:																										


		UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
		FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.									
Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán		Coordenadas del Banco:							
Ubicación:		Cerrillo		Este: 777134.42							
Fecha muestreo:		19/04/2016		Norte: 9211311.98							
Material:		Color marrón		Cota: 2705							
Protocolo:		N° 2	Hoja: 1	de: 1							
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD NTP 339.127 (ASTM D 2216)</b>											
CONDICIONES DE SECADO		60/110°		Método : Horno (O) Microonda(M)							
Colocación de muestra en el horno y/o microonda		Fecha:	19/04/2016	Hora:	11.21 am						
Extracción de muestra del horno y/o microonda		Fecha:	20/04/2016	Hora:	12.00 pm						
<b>INFORMACION GENERAL</b>											
TIPO DE MATERIAL :		Arcilla									
CANTERA :		Cerrillo									
ASOCIACIÓN :		EL RESCATE DEL ALAMO S R									
CANTIDAD DE MUESTRA:		2000 gr									
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DE MUESTRA PATRÓN</b>											
DATOS				MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3					
RESIPIENTE + SUELO	Pr+Ph	A	gr.	181.50	172.10	122.50					
RESIPIENTE + SUELO SECO	Pr+Ps	B	gr.	147.40	140.70	102.20					
PESO DEL RESIPIENTE	Pr	C	gr.	27.20	26.10	27.00					
PESO DEL AGUA	Ph	D = A - C	gr.	154.30	146.00	95.50					
PESO SECO	Ps	W = B - C	gr.	120.20	114.60	75.20					
% de Humedad		$((D-W)/W)*100$	%	28.4 %	27.4 %	27.0 %					
% de Humedad Promedio =				27.6 %							
											
OBSERVACIONES - COMENTARIO											
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">PESO DEL SUELO HUMEDO.</td> </tr> </table>						PESO DEL SUELO HUMEDO.					
PESO DEL SUELO HUMEDO.											
<b>APROBACIÓN</b>											
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera					
Nombre:	Victor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga				
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:					
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:					

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.			
Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán		Coordenadas del Banco:	
Ubicación:		Cerrillo		Este: 777134.42	
Fecha:		20/04/2016		Norte: 9211311.98	
Material:		Color marrón		Cota: 2705	
Horas de trabajo:		De: 11.15 am		Hasta: 3.00 pm	
Protocolo:		N° 3		Hoja: 1 de: 1	
LL-LP NTP 339.129 (ASTM D 4318)					
INFORMACION GENERAL					
TIPO DE MATERIAL:		Arcilla			
CANTERA:		Cerrillo			
ASOCIACIÓN:		EL RESCATE DEL ALAMO S R			
CANTIDAD DE MUESTRA:		500 gr			
LÍMITES DE ATTERBERG DE MUESTRA PATRON					
DATOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Wt (gr)	27.20	26.10	27.00	28.10	27.90
Wmh+t(gr)	33.50	34.10	34.40	39.60	36.60
Wms+t(gr)	31.60	31.70	32.20	37.40	34.90
Ww(gr)	1.90	2.40	2.20	2.20	1.70
Wms(gr)	4.40	5.60	5.20	9.30	7.00
W%	43.18	42.86	42.31	23.66	24.29
N° DE GOLPES	13.00	22.00	31.00		
LL-LP	43.00 %			24.00 %	
INDICE DE PLÁSTICIDAD	19.00 %				
LÍMITE LÍQUIDO					
					
					
Límite plástico					
OBSERVACIONES - COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador	
Nombre:	Victor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán
Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:	
Director de Carrera					
Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga				
Fecha:					
Firma:					



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.			
Investigador :	Karen Estefany Palomino Terán			Coordenadas:	
Ubicación:	Cerrillo			Este: 777134.42	
Fecha:	21/04/2016			Norte: 9211311.98	
Material:	Color marrón			Cota: 2705	
Horas de trabajo:	De: 11.15 am		Hasta: 3.00 pm		
Protocolo:	N°	4	Hoja:	1	de: 1
CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DE 2, 4 Y 6 % DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.					
INFORMACION GENERAL					
TIPO DE MATERIAL :	Arcilla				
CANTERA :	Cerrillo				
ASOCIACIÓN :	EL RESCATE DEL ALAMO S R				
CANTIDAD DE MUESTRA:	500 gr				
Material Retenido Malla N°200:					
TAMIZ		Peso Retenido (gr)	% Rer. Par	%Ret. Acum	% QUE PASA
N°	ABER.(mm)				
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
N°10	2.00	5.90	1.18	1.18	98.82
N°20	0.85	15.10	3.02	4.20	95.80
N°30	0.60	19.50	3.90	8.10	91.90
N°40	0.43	24.90	4.98	13.08	86.92
N°60	0.25	56.30	11.26	24.34	75.66
N°100	0.15	59.10	11.82	36.16	63.84
N°200	0.08	34.00	6.80	42.96	57.04
CAZOLETA		285.20	57.04	100.00	0.00
TOTAL					
CURVA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Tamizado por lavado					
					
OBSERVACIONES - COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador	
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán
Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:	
Director de Carrera					
Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga				
Fecha:					
Firma:					

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>													
	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								Coordenadas:			
	Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán						Este:		777134.42			
	Ubicación:		Cerrillo						Norte:		9211311.98			
Fecha:		26/04/2016						Cota:		2705				
Material:		Color marrón								Hoja: 1 de: 1				
Horas de trabajo:		De:	3.00pm	Hasta:	7.00 pm	Protocolo:	N°	5						
<b>PROCTOR MODIFICADO NTP 339.141 (ASTM D 1557)-MUESTRA PARON</b>														
<b>INFORMACION GENERAL</b>														
TIPO DE MATERIAL :		Arcilla												
CANTERA :		Cerrillo												
ASOCIACIÓN :		El rescate del Alamo												
CANTIDAD DE MUESTRA:		30000 gr												
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDE N°3		MOLDE N°4							
Peso molde (gr)	4190.00		4190.00		4190.00		4190.00		4190.00					
Pmh+molde(gr)	6004.00		6082.00		6123.00		6081.00		6081.00					
Pmh (gr)	1814.00		1892.00		1933.00		1891.00		1891.00					
Vmh(cm3)	937.38		937.38		937.38		937.38		937.38					
Dh(gr/cm3)	1.9352		2.018		2.062		2.017							
Recipiente N°	a	b	c	d	e	f	g	h						
Pt(gr)	28.20	28.00	27.00	27.10	27.40	27.50	27.20	27.20						
Pmh+Pt(gr)	370.50	270.20	185.10	265.90	323.90	283.70	312.60	209.10						
Pms+Pt(gr)	329.00	239.00	163.80	231.10	280.30	245.30	264.30	178.00						
Pw(gr)	41.50	31.20	21.30	34.80	43.60	38.40	48.30	31.10						
Pms(gr)	300.80	211.00	136.80	204.00	252.90	217.80	237.10	150.80						
W(%)	13.80	14.79	15.57	17.06	17.24	17.63	20.37	20.62						
Wprom (%)	14.292		16.314		17.435		20.497							
Ds(gr/cm3)	1.693		1.735		1.756		1.674							
														
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.750</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>HUMEDAD OPTIMA</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">18.120</td> </tr> </table>											<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b>	1.750	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	18.120
<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b>														
1.750														
<b>HUMEDAD OPTIMA</b>														
18.120														
<b>OBSERVACIONES - COMENTARIO</b>														
<b>APROBACIÓN</b>														
<b>Coordinador de Laboratorio</b>			<b>Asesor de Tesis</b>			<b>Investigador</b>			<b>Director de Carrera</b>					
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán		Nombre:	Irene Ravines Azañero		Nombre:	Karen Palomino Terán		Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga				
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Fecha:					
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:					

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>																										
	FACULTAD DE INGENIERÍA																										
	CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																										
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.																								
	Investigador:	Karen Estefany Palomino Terán							Coordenadas:																		
Ubicación:	Cerrillo							Este: 777134.42																			
Fecha muestreo:	05/05/2016							Norte: 9211311.98																			
Material:	Color marrón							Cota: 2705																			
Horas de trabajo:	De:	09.15 am	Hasta:	4.00 pm	Protocolo:	N°	6	Hoja:	1	de:	5																
<b>CBR NTP 339.141 (ASTM D 1557)-MUESTRA PATRÓN</b>																											
INFORMACION GENERAL																											
TIPO DE MATERIAL :	Arcilla																										
CANTERA :	El cerrillo																										
ASOCIACIÓN :	El rescate del Alamo																										
CANTIDAD DE MUESTRA:	18000 gr																										
MOLDE N°	MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3																				
Condicion de la Muestra	Antes de saturar		Saturado	Antes de saturar		Saturado	Antes de saturar		Saturado																		
PESO MOLDE	7248.00		7248.00	7228.00		7228.00	7244.00		7244.00																		
Pmh+Molde	11560.00		11816.00	11794.00		11964.00	12201.00		12252.00																		
Pmh (gr)	4312.00		4568.00	4566.00		4736.00	4957.00		5008.00																		
Vmh(cm³)	2370.74		2370.74	2370.74		2370.74	2370.74		2370.74																		
Dh(gr/cm³)	1.82		1.93	1.93		2.00	2.09		2.11																		
Recipiente N°	1-A	1-B	1-C	1-A	1-B	1-C	1-A	1-B	1-C																		
Pt(gr)	27.00	27.30	27.30	28.20	28.00	27.20	27.30	27.10	27.00																		
Pmh+t(gr)	89.80	88.00	191.00	100.60	95.22	212.50	184.60	153.30	200.40																		
Pms+t(gr)	80.10	78.70	154.30	89.70	85.20	175.10	161.00	134.50	167.60																		
Pw(gr)	9.70	9.30	36.70	10.90	10.02	37.40	23.60	18.80	32.80																		
Pms(gr)	53.10	51.40	127.00	61.50	57.20	147.90	133.70	107.40	140.60																		
W(%)	18.27	18.09	28.90	17.72	17.52	25.29	17.65	17.50	23.33																		
Wprom (%)	18.18		28.90	17.62		25.29	17.58		23.33																		
Ds(gr/cm³)	1.539		1.495	1.637		1.5945	1.778		1.713																		
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Dimensiones MOLDE (cm)</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Altura</td><td style="text-align: center;">17.90</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Diámetro</td><td style="text-align: center;">15.20</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Disco espaciador (cm)</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Altura</td><td style="text-align: center;">5.10</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Diámetro</td><td style="text-align: center;">14.80</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Peso de la muestra (gr)</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"> </td></tr> </table>												Dimensiones MOLDE (cm)		Altura	17.90	Diámetro	15.20	Disco espaciador (cm)		Altura	5.10	Diámetro	14.80	Peso de la muestra (gr)			
Dimensiones MOLDE (cm)																											
Altura	17.90																										
Diámetro	15.20																										
Disco espaciador (cm)																											
Altura	5.10																										
Diámetro	14.80																										
Peso de la muestra (gr)																											
OBSERVACIONES - COMENTARIO																											
APROBACIÓN																											
Coordinador de Laboratorio			Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera																		
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán		Nombre:	Irene Ravines Azañero		Nombre:	Karen Palomino Terán		Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga																	
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Fecha:																		
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:																		


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE										
FACULTAD DE INGENIERÍA										
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								
Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán					Coordenadas:			
Ubicación:		Cerrillo					Este: 777134.42			
Fecha:		05/05/2016					Norte: 9211311.98			
Material:		Color marrón					Cota: 2705			
Horas de trabajo:		De: 11.15 am			Hasta: 3.00 pm					
Protocolo:		N° 6		Hoja: 2		de: 5				
CBR-AASHTO T193-99-MUESTRA PATRÓN										
INFORMACION GENERAL										
TIPO DE MATERIAL:		Arcilla								
CANTERA:		Cerrillo								
ASOCIACIÓN:		El rescate del Alamo								
CANTIDAD DE MUESTRA:		18000 gr								
LECTURAS DE HINCHAMIENTO										
DATOS		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		Hinchamiento			Hinchamiento			Hinchamiento		
(Horas)	(Días)	N°	(mm)	(%)	N°	(mm)	(%)	N°	(mm)	(%)
0	0	1	0	0.000	1	0	0.00	1	0	0
24	1	2	0.121	0.095	2	0.080	0.06	2	0.052	0.041
48	2	3	0.124	0.097	3	0.097	0.08	3	0.063	0.049
72	3	4	0.127	0.099	4	0.104	0.08	4	0.072	0.056
96	4	5	0.129	0.101	5	0.110	0.09	5	0.081	0.063
Altura muestra compactada		12.80								
OBSERVACIONES - COMENTARIO										
APROBACIÓN										
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera		
Nombre:	Victor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga	Nombre:		
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:		
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		


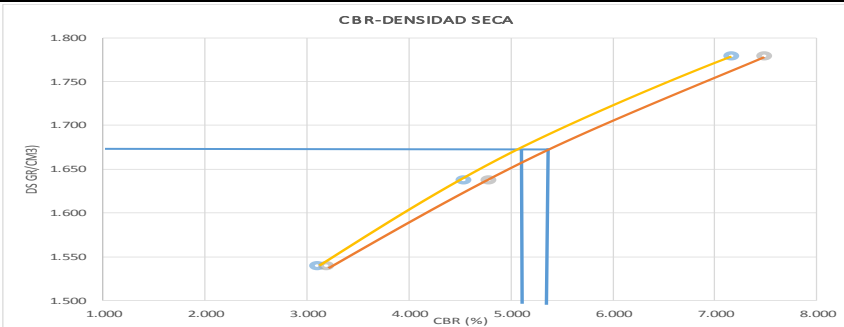
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE											
FACULTAD DE INGENIERÍA											
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
Nombre de investigación:			CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								
Investigador:			Karen Estefany Palomino Terán						Coordenadas:		
Ubicación:			Cerrillo			Este:			777134.42		
Fecha:			05/05/2016			Norte:			9211311.98		
Material:			Color marrón			Cota:			2705		
Horas de trabajo:			De: 09:00 a.m.			Hasta:			11.00 am		
Protocolo:			N° 6			Hoja:			3 de 5		
CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DE 2, 4 Y 6 % DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.											
INFORMACION GENERAL											
TIPO DE MATERIAL:			Arcilla								
CANTERA:			Cerrillo								
ASOCIACIÓN:			El rescate del Alamo								
CANTIDAD DE MUESTRA:			90000 gr								
LECTURAS DE PENETRACIÓN											
PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
Medida	mm	Pulg	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg <sup>2</sup> )	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg <sup>2</sup> )	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg <sup>2</sup> )
1	0	0.000	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
2	0.64	0.025	5	37.5	11.94	7	52.5	16.71	9	67.5	21.49
3	1.27	0.050	8	60	19.10	11	82.5	26.26	15	112.5	35.81
4	1.91	0.075	10	75	23.87	15	112.5	35.81	23	172.5	54.91
5	2.54	0.100	13	97.5	31.04	19	142.5	45.36	30	225	71.62
6	3.17	0.125	15	112.5	35.81	24	180	57.30	36	270	85.95
7	3.81	0.150	17	127.5	40.59	26	195	62.07	40	300	95.50
8	4.45	0.175	18	135	42.97	28	210	66.85	44	330	105.04
9	5.08	0.200	20	150	47.75	30	225	71.62	47	352.5	112.21
10	6.35	0.250	22	165	52.52	34	255	81.17	49	367.5	116.98
11	7.62	0.300	23	172.5	54.91	35.5	266.25	84.75	52	390	124.14
12	8.89	0.350	24	180	57.30	37	277.5	88.33	54	405	128.92
13	10.16	0.400	25	187.5	59.68	38.2	286.5	91.20	56	420	133.69
14	11.43	0.450	25.5	191.25	60.88	40	300	95.50	58	435	138.47
15	12.7	0.500	26	195	62.07	42	315	100.27	62	465	148.02

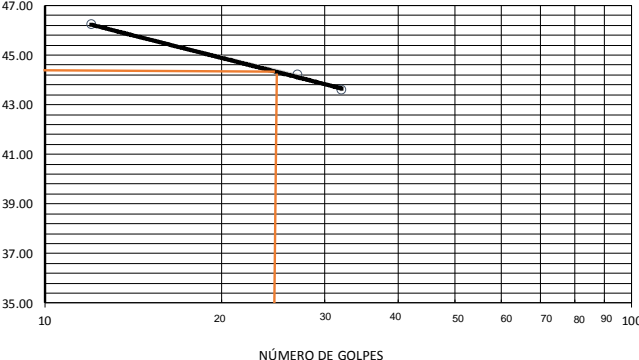

Diametro de Pison
2.00
Factor de Carga
7.50

Penetracion	0.1(")	0.2(")
Molde 01	31.04	47.75
Molde 02	45.36	71.62
Molde 03	71.62	112.21


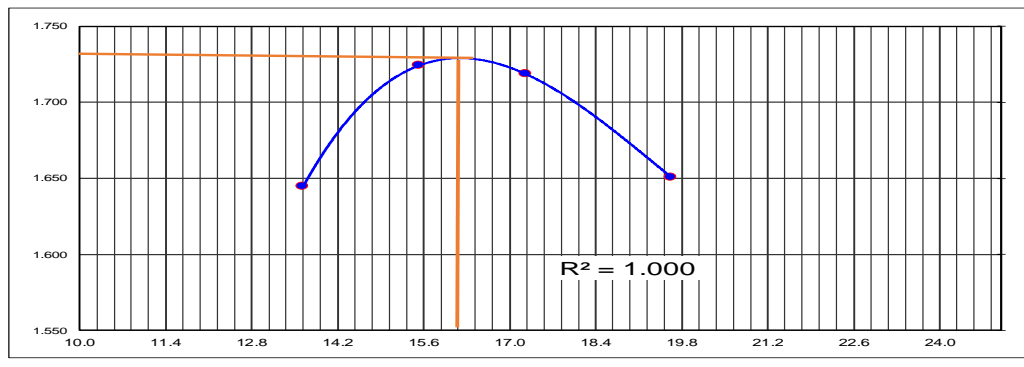
OBSERVACIONES - COMENTARIO											
APROBACIÓN											
Coordinador de Laboratorio			Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera		
Nombre: Víctor Cuzco Minchán			Nombre: Irene Ravines Azañero			Nombre: Karen Palomino Terán			Nombre: Orlando Aguilar Aliaga		
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Fecha:		
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:		

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE							
FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
	<b>Nombre de investigación:</b> CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.						
	<b>Investigador:</b> Karen Estefany Palomino Terán				<b>Coordenadas:</b>		
	<b>Ubicación:</b> Cerrillo				Este: 777134.42		
	<b>Fecha muestreo:</b> 05/05/2016				Norte: 9211311.98		
	<b>Material:</b> Color marrón				Cota: 2705		
	<b>Protocolo:</b> N°		6		<b>Hoja:</b> 4		de: 5
CBR-AASHTO T193-99-MUESTRA PATRÓN							
INFORMACION GENERAL							
<b>TIPO DE MATERIAL :</b>		Arcilla					
<b>CANtera :</b>		Cerrillo					
<b>ASOCIACIÓN :</b>		El rescate del Alamo					
<b>CANTIDAD DE MUESTRA:</b>		18000 gr					
ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION							
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3		
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"	
Esfuerzo Terreno (lb/plg2)	31.04	47.75	45.36	71.62	71.62	112.21	
Esfuerzo Patrón (lb/plg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500	
CBR (%)	3.10	3.18	4.54	4.77	7.16	7.48	
OBSERVACIONES - COMENTARIO							
APROBACIÓN							
<b>Coordinador de Laboratorio</b>		<b>Asesor de Tesis</b>		<b>Investigador</b>		<b>Director de Carrera</b>	
<b>Nombre:</b>	Víctor Cuzco Minchán	<b>Nombre:</b>	Irene Ravines Azañero	<b>Nombre:</b>	Karen Palomino Terán	<b>Nombre:</b>	Orlando Aguilar Aliaga
<b>Fecha:</b>		<b>Fecha:</b>		<b>Fecha:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Firma:</b>		<b>Firma:</b>		<b>Firma:</b>		<b>Firma:</b>	

 <b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL								
Nombre de Investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.						
Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán				Coordenadas:		
Ubicación:		Cerrillo				Este: 777134.42		
Fecha muestreo:		05/05/2016				Norte: 9211311.98		
Material:		Color marrón				Cota: 2705		
Protocolo:		N° 6		Hoja: 5		de: 5		
<b>CBR-AASHTO T193-99-MUESTRA PATRÓN</b>								
<b>INFORMACION GENERAL</b>								
TIPO DE MATERIAL:		Arcilla						
CANTERA:		Cerrillo						
ASOCIACIÓN:		El rescate del Alamo						
CANTIDAD DE MUESTRA:		18000 gr						
<b>CBR Y DENSIDAD SECA</b>								
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3			
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"		
CBR (%)	3.104	3.183	4.54	4.77	7.16	7.48		
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	1.539	1.539	1.637	1.637	1.778	1.778		
Ds Max =		1.75 gr/cm <sup>3</sup>	CBR (0.1")	5.10%				
95% Ds Max=		1.66 gr/cm <sup>3</sup>	CBR(0.2")	5.40%				
								
<b>OBSERVACIONES - COMENTARIO</b>								
<b>APROBACIÓN</b>								
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera		
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Plomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga	
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:		
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE							
FACULTAD DE INGENIERÍA							
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.					
Investigador:	Karen Estefany Palomino Terán			Coordenadas del Banco:			
Ubicación:	Cerrillo			Este:	777134.42		
Fecha:	26/04/2016			Norte:	9211311.98		
Material:	Color marrón			Cota:	2705		
Horas de trabajo:	De:	11.15 am	Hasta:	3.00 pm			
Protocolo:	N°	7	Hoja:	1	de: 1		
LL-LP NTP 339.129 (ASTM D 4318)- 2% MAXXSEAL							
INFORMACION GENERAL							
TIPO DE MATERIAL :	Arcilla						
CANTERA :	Cerrillo						
ASOCIACIÓN :	EL RESCATE DEL ALAMO S R						
CANTIDAD DE MUESTRA:	500 gr						
LÍMITES DE ATTERBERG DE MUESTRA PATRON							
DATOS	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO			
Wt (gr)	27.10	29.00	28.50	28.00	27.90		
Wmh+t(gr)	43.80	43.00	42.20	43.10	37.30		
Wms+t(gr)	38.73	38.71	37.87	39.71	35.18		
Ww(gr)	5.07	4.29	4.33	3.39	2.12		
Wms(gr)	11.63	9.71	9.37	11.71	7.28		
W%	43.59	44.18	46.21	28.95	29.12		
N° DE GOLPES	32.00	27.00	12.00				
LL-LP	45.00 %			29.00 %			
INDICE DE PLÁSTICIDAD	16.00 %						
LÍMITE LÍQUIDO							
							
							
OBSERVACIONES - COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera	
Nombre:	Victor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:	



	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>													
	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								Coordenadas:			
	Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán						Este:		777134.42			
	Ubicación:		Cerrillo						Norte:		9211311.98			
Fecha:		27/04/2016						Cota:		2705				
Material:		Color marrón												
Horas de trabajo:		De:	3.00pm	Hasta:	7.00 pm	Protocolo:	N°	8	Hoja:	1 de 1				
PROCTOR MODIFICADO NTP 339.141 (ASTM D 1557)- 2% MAXXSEAL														
INFORMACION GENERAL														
TIPO DE MATERIAL :		Arcilla												
CANTERA :		Cerrillo												
ASOCIACIÓN :		El rescate del Alamo												
CANTIDAD DE MUESTRA:		30000 gr												
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDE N°3		MOLDE N°4							
Peso molde (gr)	4190.00		4190.00		4190.00		4190.00							
Pmh+molde(gr)	5942.00		6057.00		6079.00		6041.00							
Pmh (gr)	1752.00		1867.00		1889.00		1851.00							
Vmh(cm3)	937.38		937.38		937.38		937.38							
Dh(gr/cm3)	1.8690		1.992		2.015		1.975							
Recipiente N°	a	b	c	d	e	f	g	h						
Pt(gr)	27.90	28.10	89.90	72.60	27.00	26.70	27.10	26.20						
Pmh+t(gr)	212.10	262.90	420.97	631.90	321.64	279.43	232.20	354.60						
Pms+t(gr)	190.80	233.70	376.70	556.40	278.40	242.10	198.50	300.80						
Pw(gr)	21.30	29.20	44.27	75.50	43.24	37.33	33.70	53.80						
Pms(gr)	162.90	205.60	286.80	483.80	251.40	215.40	171.40	274.60						
W(%)	13.08	14.20	15.44	15.61	17.20	17.33	19.66	19.59						
Wprom (%)	13.639		15.521		17.265		19.627							
Ds(gr/cm3)	1.645		1.724		1.718		1.651							
														
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1.730</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">HUMEDAD OPTIMA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">16.440</td> </tr> </table>											DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)	1.730	HUMEDAD OPTIMA	16.440
DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)														
1.730														
HUMEDAD OPTIMA														
16.440														
OBSERVACIONES - COMENTARIO														
APROBACIÓN														
Coordinador de Laboratorio			Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera					
Nombre:	Victor Cuzco Minchán		Nombre:	Irene Ravines Azañero		Nombre:	Karen Palomino Terán		Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga				
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Fecha:					
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:					

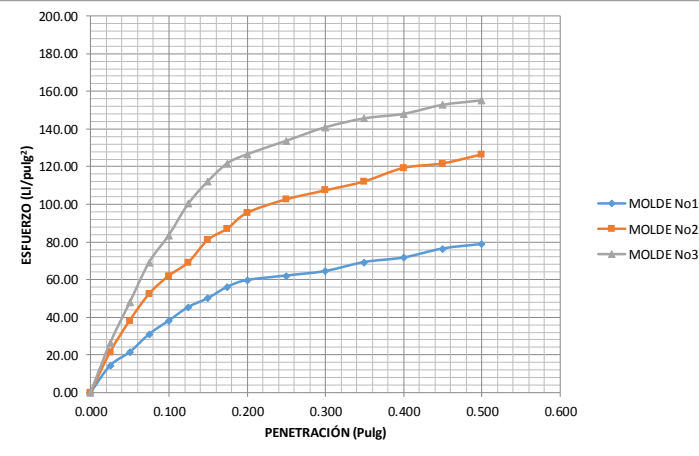


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE										
FACULTAD DE INGENIERÍA										
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								
Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán					Coordenadas:			
Ubicación:		Cerrillo					Este: 777134.42			
Fecha:		09/05/2016					Norte: 9211311.98			
Material:		Color marrón					Cota: 2705			
Horas de trabajo:		De: 11.15 am			Hasta: 3.00 pm					
Protocolo:		N° 9		Hoja: 2		de: 5				
CBR-AASHTO T193-99-2% MAXXSEAL										
INFORMACION GENERAL										
TIPO DE MATERIAL:		Arcilla								
CANtera:		Cerrillo								
ASOCIACIÓN:		El rescate del Alamo								
CANTIDAD DE MUESTRA:		18000 gr								
LECTURAS DE HINCHAMIENTO										
DATOS		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		Hinchamiento			Hinchamiento			Hinchamiento		
(Horas)	(Días)	N°	(mm)	(%)	N°	(mm)	(%)	N°	(mm)	(%)
0	0	1	0	0.000	1	0	0.00	1	0	0
24	1	2	0.090	0.070	2	0.053	0.04	2	0.042	0.033
48	2	3	0.095	0.074	3	0.057	0.04	3	0.043	0.033
72	3	4	0.097	0.076	4	0.058	0.05	4	0.044	0.034
96	4	5	0.098	0.076	5	0.059	0.05	5	0.044	0.034
Altura muestra compactada		12.80								
OBSERVACIONES - COMENTARIO										
APROBACIÓN										
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera		
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga			
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:				
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:				


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE											
FACULTAD DE INGENIERÍA											
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
Nombre de investigación:			CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								
Investigador:			Karen Estefany Palomino Terán				Coordenadas:				
Ubicación:			Cerrillo				Este: 777134.42				
Fecha:			09/05/2016				Norte: 9211311.98				
Material:			Color marrón				Cota: 2705				
Horas de trabajo:			De: 11.15 am		Hasta: 3.00 pm						
Protocolo:			N° 9		Hoja: 3			de: 5			
CBR-AASHTO T193-99-2% MAXXSEAL											
INFORMACION GENERAL											
TIPO DE MATERIAL :			Arcilla								
CANTERA :			Cerrillo								
ASOCIACIÓN :			El rescate del Alamo								
CANTIDAD DE MUESTRA:			18000 gr								
LECTURAS DE PENETRACIÓN											
PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
Medida	mm	Pulg	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg 2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg 2)
1	0	0.000	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
2	0.64	0.025	6	45	14.32	9	67.5	21.49	11	82.5	26.26
3	1.27	0.050	9	67.5	21.49	16	120	38.20	20	150	47.75
4	1.91	0.075	13	97.5	31.04	22	165	52.52	29	217.5	69.23
5	2.54	0.100	16	120	38.20	26	195	62.07	35	262.5	83.56
6	3.17	0.125	19	142.5	45.36	29	217.5	69.23	42	315	100.27
7	3.81	0.150	21	157.5	50.14	34	255	81.17	47	352.5	112.21
8	4.45	0.175	23.5	176.25	56.10	36.5	273.75	87.14	51	382.5	121.76
9	5.08	0.200	25	187.5	59.68	40	300	95.50	53	397.5	126.53
10	6.35	0.250	26	195	62.07	43	322.5	102.66	56	420	133.69
11	7.62	0.300	27	202.5	64.46	45	337.5	107.43	59	442.5	140.86
12	8.89	0.350	29	217.5	69.23	47	352.5	112.21	61	457.5	145.63
13	10.16	0.400	30	225	71.62	50	375	119.37	62	465	148.02
14	11.43	0.450	32	240	76.40	51	382.5	121.76	64	480	152.79
15	12.7	0.500	33	247.5	78.78	53	397.5	126.53	65	487.5	155.18


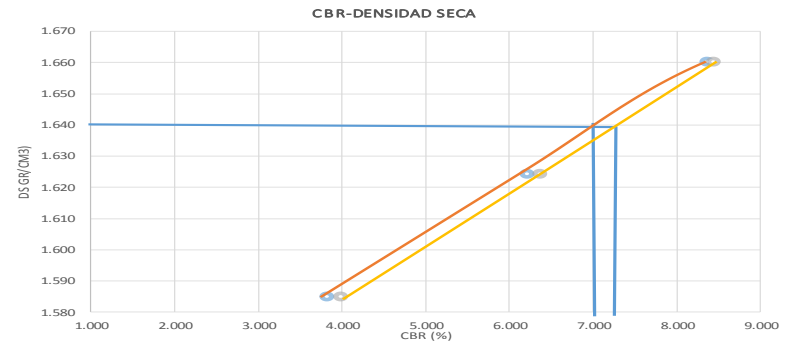
Diametro de Pison
2.00
Factor de Carga
7.50

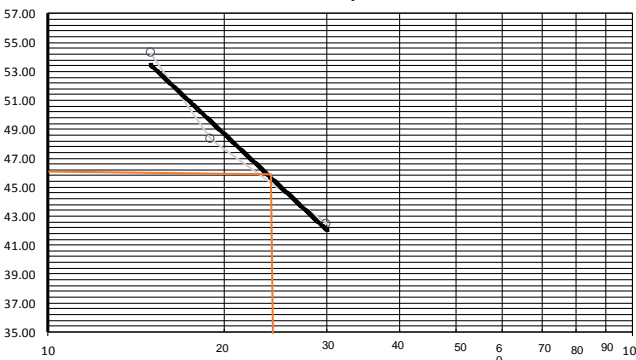
Penetración	0.1(")	0.2(")
Molde 01	38.20	59.68
Molde 02	62.07	95.50
Molde 03	83.56	126.53

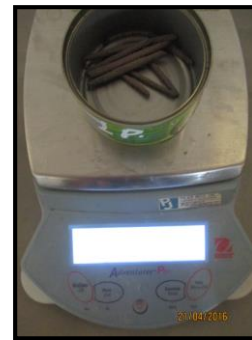


OBSERVACIONES - COMENTARIO											
APROBACIÓN											
Coordinador de Laboratorio			Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera		
Nombre: Víctor Cuzco Minchán			Nombre: Irene Ravines Azañero			Nombre: Karen Palomino Terán			Nombre: Orlando Aguilar Aliaga		
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Fecha:		
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:		


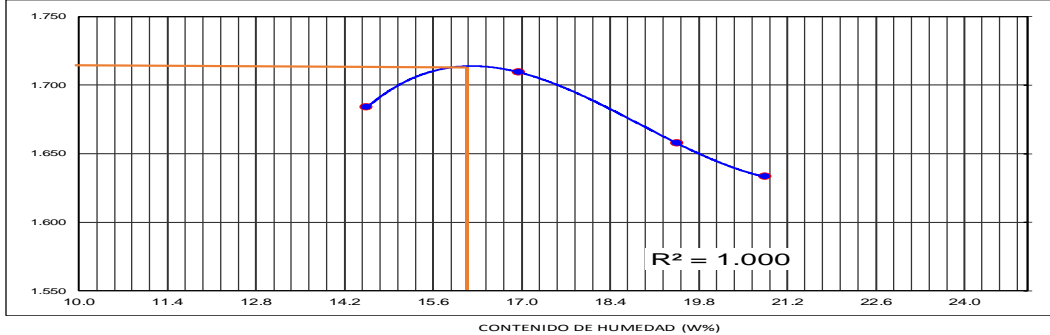
	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.				
	Investigador :		Karen Estefany Palomino Terán			<b>Coordenadas:</b>	
	Ubicación:		Cerrillo			Este: 777134.42	
	Fecha muestreo:		09/05/2016			Norte: 9211311.98	
	Material:		Color marrón			Cota: 2705	
Protocolo:		N° 9		Hoja: 4		de: 5	
<b>CBR-AASHTO T193-99-2% DE MAXXSEAL 100</b>							
<b>INFORMACION GENERAL</b>							
TIPO DE MATERIAL :		Arcilla					
CANTERA :		Cerrillo					
ASOCIACIÓN :		El rescate del Alamo					
CANTIDAD DE MUESTRA:		18000 gr					
<b>ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION</b>							
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3		
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"	
Esfuerzo Terreno (lb/plg2)	38.20	59.68	62.07	95.50	83.56	126.53	
Esfuerzo Patrón (lb/plg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500	
CBR (%)	3.82	3.98	6.21	6.37	8.36	8.44	
<b>OBSERVACIONES - COMENTARIO</b>							
<b>APROBACIÓN</b>							
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera	
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:	Palomino Terán, Karen Estefany	Firma:		Firma:		Firma:	

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>												
	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL												
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.										
	Investigador:	Karen Estefany Palomino Terán			Coordenadas:								
	Ubicación:	Cerrillo			Este:	777134.42							
Fecha muestreo:	09/05/2016			Norte:	9211311.98								
Material:	Color marrón			Cota:	2705								
Protocolo:	N°	9	Hoja:	5	de: 5								
CBR-AASHTO T193-99-2% DE MAXXSEAL 100													
INFORMACION GENERAL													
TIPO DE MATERIAL:	Arcilla												
CANtera:	Cerrillo												
ASOCIACIÓN:	El rescate del Alamo												
CANTIDAD DE MUESTRA:	18000 gr												
CBR Y DENSIDAD SECA													
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3								
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"							
CBR (%)	3.820	3.979	6.21	6.37	8.36	8.44							
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	1.585	1.585	1.624	1.624	1.660	1.660							
													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Ds Max =</td> <td>1.73 gr/cm<sup>3</sup></td> <td>CBR (0.1")</td> <td>7.00%</td> </tr> <tr> <td>95% Ds Max=</td> <td>1.64 gr/cm<sup>3</sup></td> <td>CBR(0.2")</td> <td>7.30%</td> </tr> </table>						Ds Max =	1.73 gr/cm <sup>3</sup>	CBR (0.1")	7.00%	95% Ds Max=	1.64 gr/cm <sup>3</sup>	CBR(0.2")	7.30%
Ds Max =	1.73 gr/cm <sup>3</sup>	CBR (0.1")	7.00%										
95% Ds Max=	1.64 gr/cm <sup>3</sup>	CBR(0.2")	7.30%										
OBSERVACIONES - COMENTARIO													
APROBACIÓN													
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera							
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Plomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga						
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:							
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:							


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE					
FACULTAD DE INGENIERÍA					
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.			
Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán		Coordenadas del Banco:	
Ubicación:		Cerrillo		Este: 777134.42	
Fecha:		02/05/2016		Norte: 9211311.98	
Material:		Color marrón		Cota: 2705	
Horas de trabajo:		De: 11.15 am		Hasta: 3.00 pm	
Protocolo:		N° 10		Hoja: 1 de: 1	
LL-LP NTP 339.129 (ASTM D 4318)- 4% MAXXSEAL					
INFORMACION GENERAL					
TIPO DE MATERIAL:		70 Arcilla			
CANTERA:		Cerrillo			
ASOCIACIÓN:		EL RESCATE DEL ALAMO S R			
CANTIDAD DE MUESTRA:		500 gr			
LÍMITES DE ATTERBERG DE MUESTRA PATRON					
DATOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Wt (gr)	27.90	27.80	27.40	27.50	27.70
Wmh+t(gr)	43.10	42.20	39.20	37.50	40.50
Wms+t(gr)	38.57	37.51	35.05	34.85	37.20
Ww(gr)	4.53	4.69	4.15	2.65	3.30
Wms(gr)	10.67	9.71	7.65	7.35	9.50
W%	42.46	48.30	54.25	36.05	34.74
N° DE GOLPES	30.00	19.00	15.00		
LL-LP	48.00 %			35.00 %	
INDICE DE PLÁSTICIDAD	13.00 %				
LÍMITE LÍQUIDO					
					
NÚMERO DE GOLPES					
OBSERVACIONES - COMENTARIO					
APROBACIÓN					
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador	
Nombre:	Victor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán
Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:	
				Director de Carrera	
				Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga
				Fecha:	
				Firma:	



Límite plástico

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>																		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																		
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								Coordenadas:								
	Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán						Este:		777134.42								
	Ubicación:		Cerrillo						Norte:		9211311.98								
Fecha:		02/05/2016						Cota:		2705									
Material:		Color marrón						Hoja:		1 de: 1									
Horas de trabajo:		De:	3.00pm	Hasta:	7.00 pm	Protocolo:	N°	11											
<b>PROCTOR MODIFICADO NTP 339.141 (ASTM D 1557)- 4% MAXXSEAL</b>																			
<b>INFORMACION GENERAL</b>																			
TIPO DE MATERIAL :		Arcilla																	
CANTERA :		Cerrillo																	
ASOCIACIÓN :		El rescate del Alamo																	
CANTIDAD DE MUESTRA:		30000 gr																	
MOLDE N°		MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDE N°3		MOLDE N°4											
Peso molde (gr)		4190.00		4190.00		4190.00		4190.00		4190.00									
Pmh+molde(gr)		5998.00		6064.00		6046.00		6040.00		6040.00									
Pmh (gr)		1808.00		1874.00		1856.00		1850.00		1850.00									
Vmh(cm3)		937.38		937.38		937.38		937.38		937.38									
Dh(gr/cm3)		1.9288		1.999		1.980		1.974											
Recipiente N°		a		b		c		d		e									
Pt(gr)		27.20		27.50		27.30		27.50		27.40									
Pmh+Pt(gr)		229.70		229.60		349.70		220.60		199.50									
Pms+Pt(gr)		204.30		203.60		303.10		192.50		171.39									
Pw(gr)		25.40		26.00		46.60		28.10		28.11									
Pms(gr)		177.10		176.10		275.80		165.00		143.99									
W(%)		14.34		14.76		16.90		17.03		19.52									
Wprom (%)		14.553		16.963		19.468		20.856											
Ds(gr/cm3)		1.684		1.709		1.657		1.633											
						<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">1.720</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">HUMEDAD OPTIMA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">16.160</td> </tr> </table>						DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)		1.720		HUMEDAD OPTIMA		16.160	
DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)																			
1.720																			
HUMEDAD OPTIMA																			
16.160																			
<b>OBSERVACIONES - COMENTARIO</b>																			
<b>APROBACIÓN</b>																			
<b>Coordinador de Laboratorio</b>			<b>Asesor de Tesis</b>			<b>Investigador</b>			<b>Director de Carrera</b>										
Nombre: Víctor Cuzco Minchán			Nombre: Irene Ravines Azañero			Nombre: Karen Palomino Terán			Nombre: Oriando Aguilar Aliaga										
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Fecha:										
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:										



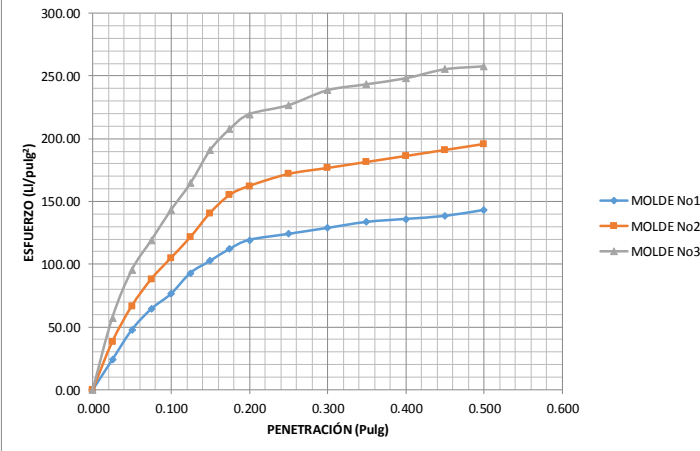
	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>																									
	FACULTAD DE INGENIERÍA																									
	CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																									
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.																							
	Investigador :		Karen Estefany Palomino Terán					Coordenadas:																		
	Ubicación:		Cerrillo					Este: 777134.42																		
Fecha muestreo:		17/05/2016					Norte: 9211311.98																			
Material:		Color marrón					Cota: 2705																			
Horas de trabajo:		De:	09.15 am	Hasta:	4.00 pm	Protocolo:	N°	12	Hoja:	1 de: 5																
<b>CBR NTP 339.141 (ASTM D 1557)- 4% MAXXSEAL</b>																										
<b>INFORMACION GENERAL</b>																										
TIPO DE MATERIAL :		Arcilla																								
CANTERA :		El cerrillo																								
ASOCIACIÓN :		El rescate del Alamo																								
CANTIDAD DE MUESTRA:		18000 gr																								
MOLDE N°		MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3																		
Condicion de la Muestra		Antes de saturar		Saturado	Antes de saturar		Saturado	Antes de saturar		Saturado																
PESO MOLDE		7250.00		7250.00	7226.00		7226.00	7246.00		7246.00																
Pmh+Molde		11580.00		11836.00	11730.00		11842.00	11826.00		11896.00																
Pmh (gr)		4330.00		4586.00	4504.00		4616.00	4580.00		4650.00																
Vmh(cm <sup>3</sup> )		2370.74		2370.74	2370.74		2370.74	2370.74		2370.74																
Dh(gr/cm <sup>3</sup> )		1.83		1.93	1.90		1.95	1.93		1.96																
Recipiente N°		1-A	1-B	1-C	1-A	1-B	1-C	1-A	1-B	1-C																
Pt(gr)		26.20	27.30	26.20	27.10	27.30	27.10	28.20	27.30	27.10																
Pmh+t(gr)		78.72	79.90	134.60	173.40	160.50	296.80	144.80	142.70	250.60																
Pms+t(gr)		71.40	72.60	114.70	153.30	142.00	251.70	128.60	126.70	211.70																
Pw(gr)		7.32	7.30	19.90	20.10	18.50	45.10	16.20	16.00	38.90																
Pms(gr)		45.20	45.30	88.50	126.20	114.70	224.60	100.40	99.40	184.60																
W(%)		16.19	16.11	22.49	15.93	16.13	20.08	16.14	16.10	21.07																
Wprom (%)		16.15		22.49	16.03		20.08	16.12		21.07																
Ds(gr/cm <sup>3</sup> )		1.572		1.579	1.637		1.6215	1.664		1.620																
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Dimensiones MOLDE (cm)</th> </tr> <tr> <td>Altura</td> <td>17.90</td> </tr> <tr> <td>Diámetro</td> <td>15.20</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Disco espaciador (cm)</th> </tr> <tr> <td>Altura</td> <td>5.10</td> </tr> <tr> <td>Diámetro</td> <td>14.80</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Peso de la muestra (gr)</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>											Dimensiones MOLDE (cm)		Altura	17.90	Diámetro	15.20	Disco espaciador (cm)		Altura	5.10	Diámetro	14.80	Peso de la muestra (gr)			
Dimensiones MOLDE (cm)																										
Altura	17.90																									
Diámetro	15.20																									
Disco espaciador (cm)																										
Altura	5.10																									
Diámetro	14.80																									
Peso de la muestra (gr)																										
<b>OBSERVACIONES - COMENTARIO</b>																										
<b>APROBACIÓN</b>																										
Coordinador de Laboratorio			Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera																	
Nombre: Víctor Cuzco Minchán			Nombre: Irene Ravines Azañero			Nombre: Karen Palomino Terán			Nombre: Orlando Aguilar Aliaga																	
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Fecha:																	
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:																	

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE										
FACULTAD DE INGENIERÍA										
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								
Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán					Coordenadas:			
Ubicación:		Cerrillo					Este:		777134.42	
Fecha:		17/05/2016					Norte:		9211311.98	
Material:		Color marrón					Cota:		2705	
Horas de trabajo:		De:		11.15 am			Hasta:		3.00 pm	
Protocolo:		N° 12			Hoja:		2		de: 5	
CBR-AASHTO T193-99-4% MAXXSEAL										
INFORMACION GENERAL										
TIPO DE MATERIAL :		Arcilla								
CANTERA :		Cerrillo								
ASOCIACIÓN :		El rescate del Alamo								
CANTIDAD DE MUESTRA:		18000 gr								
LECTURAS DE HINCHAMIENTO										
DATOS		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
(Horas)	(Días)	Hinchamiento			Hinchamiento			Hinchamiento		
		N°	(mm)	(%)	N°	(mm)	(%)	N°	(mm)	(%)
0	0	1	0	0.000	1	0	0.00	1	0	0
24	1	2	0.049	0.038	2	0.030	0.02	2	0.017	0.013
48	2	3	0.055	0.043	3	0.034	0.03	3	0.020	0.016
72	3	4	0.061	0.048	4	0.040	0.03	4	0.024	0.019
96	4	5	0.063	0.049	5	0.041	0.03	5	0.026	0.020
Altura muestra compactada		12.80								
OBSERVACIONES - COMENTARIO										
APROBACIÓN										
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera		
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga	Nombre:		Nombre:
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		Firma:


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE											
FACULTAD DE INGENIERÍA											
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.									
Investigador:		Karen Estefany Palomino Terán				Coordenadas:					
Ubicación:		Cerrillo				Este: 777134.42					
Fecha:		17/05/2016				Norte: 9211311.98					
Material:		Color marrón				Cota: 2705					
Horas de trabajo:		De: 11.15 am		Hasta: 3.00 pm							
Protocolo:		N° 12		Hoja: 2		de: 5					
<b>CBR-AASHTO T193-99-4% MAXXSEAL</b>											
<b>INFORMACION GENERAL</b>											
TIPO DE MATERIAL:		Arcilla									
CANTERA:		Cerrillo									
ASOCIACIÓN:		El rescate del Alamo									
CANTIDAD DE MUESTRA:		18000 gr									
<b>LECTURAS DE PENETRACIÓN</b>											
PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
Medida	mm	Pulg	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg <sup>2</sup> )	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg <sup>2</sup> )	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg <sup>2</sup> )
1	0	0.000	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
2	0.64	0.025	10	75	23.87	16	120	38.20	24	180	57.30
3	1.27	0.050	20	150	47.75	28	210	66.85	40	300	95.50
4	1.91	0.075	27	202.5	64.46	37	277.5	88.33	50	375	119.37
5	2.54	0.100	32	240	76.40	44	330	105.04	60	450	143.24
6	3.17	0.125	39	292.5	93.11	51	382.5	121.76	69	517.5	164.73
7	3.81	0.150	43	322.5	102.66	59	442.5	140.86	80	600	190.99
8	4.45	0.175	47	352.5	112.21	65	487.5	155.18	87	652.5	207.70
9	5.08	0.200	50	375	119.37	68	510	162.34	92	690	219.64
10	6.35	0.250	52	390	124.14	72	540	171.89	95	712.5	226.80
11	7.62	0.300	54	405	128.92	74	555	176.67	100	750	238.74
12	8.89	0.350	56	420	133.69	76	570	181.44	102	765	243.51
13	10.16	0.400	57	427.5	136.08	78	585	186.22	104	780	248.29
14	11.43	0.450	58	435	138.47	80	600	190.99	107	802.5	255.45
15	12.7	0.500	60	450	143.24	82	615	195.77	108	810	257.84


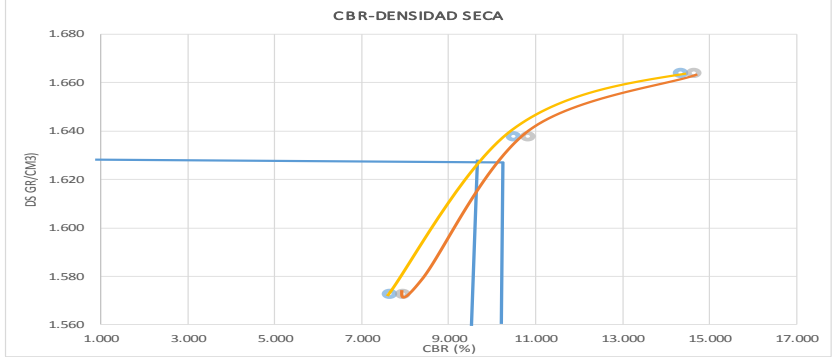
Diametro de Pison	2.00
Factor de Carga	7.50

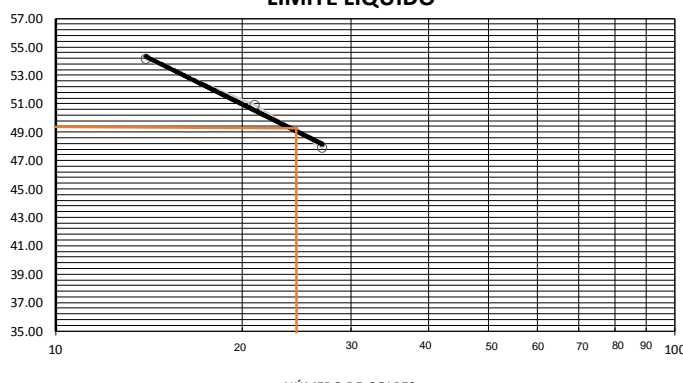

Penetracion	0.1(")	0.2(")
Molde 01	76.40	119.37
Molde 02	105.04	162.34
Molde 03	143.24	219.64


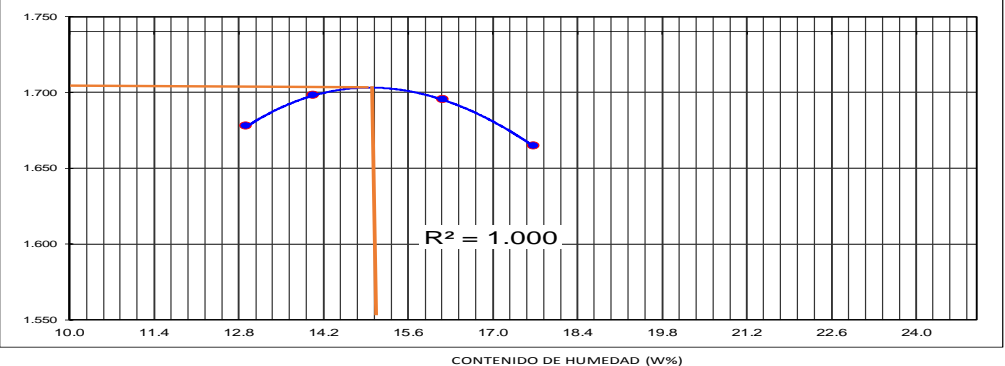


**OBSERVACIONES - COMENTARIO**											
**APROBACIÓN**											
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera			
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga	Fecha:		Fecha:	
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:		Firma:		Firma:	
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:					

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE							
FACULTAD DE INGENIERÍA							
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.				
	Investigador :	Karen Estefany Palomino Terán			Coordenadas:		
	Ubicación:	Cerrillo			Este:	777134.42	
	Fecha muestreo:	17/05/2016			Norte:	9211311.98	
	Material:	Color marrón			Cota:	2705	
Protocolo:	N°	12	Hoja:	4	de:	5	
CBR-AASHTO T193-99-4% DE MAXXSEAL 100							
INFORMACION GENERAL							
TIPO DE MATERIAL :	Arcilla						
CANtera :	Cerrillo						
ASOCIACIÓN :	El rescate del Alamo						
CANTIDAD DE MUESTRA:	18000 gr						
ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION							
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3		
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"	
Esfuerzo Terreno (lb/plg2)	76.40	119.37	105.04	162.34	143.24	219.64	
Esfuerzo Patrón (lb/plg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500	
CBR (%)	7.64	7.96	10.50	10.82	14.32	14.64	
OBSERVACIONES - COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera	
Nombre:	Victor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:	


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE								
FACULTAD DE INGENIERÍA								
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL								
	Nombre de investigación: CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.							
	Investigador:			Karen Estefany Palomino Terán			Coordenadas:	
	Ubicación:			Cerrillo			Este: 777134.42	
	Fecha muestreo:			17/05/2016			Norte: 9211311.98	
	Material:			Color marrón			Cota: 2705	
Protocolo:		N° 12		Hoja:		5 de 5		
CBR-AASHTO T193-99-4% DE MAXXSEAL 100								
INFORMACION GENERAL								
TIPO DE MATERIAL :		Arcilla						
CANTERA :		Cerrillo						
ASOCIACIÓN :		El rescate del Alamo						
CANTIDAD DE MUESTRA:		18000 gr						
CBR Y DENSIDAD SECA								
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3			
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"		
CBR (%)	7.640	7.958	10.50	10.82	14.32	14.64		
Ds (gr/cm3)	1.572	1.572	1.637	1.637	1.664	1.664		
Ds Max =				1.72 gr/cm3	CBR (0.1")	9.60%		
95% Ds Max=				1.63 gr/cm3	CBR(0.2")	10.10%		
								
OBSERVACIONES - COMENTARIO								
APROBACIÓN								
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera		
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Plomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga	
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:		
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:		

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE							
FACULTAD DE INGENIERÍA							
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.					
Investigador:	Karen Estefany Palomino Terán			Coordenadas del Banco:			
Ubicación:	Cerrillo			Este:	777134.42		
Fecha:	02/05/2016			Norte:	9211311.98		
Material:	Color marrón			Cota:	2705		
Horas de trabajo:		De:	11.15 am	Hasta:	3.00 pm		
Protocolo:		N°	13	Hoja:	1 de 1		
LL-LP NTP 339.129 (ASTM D 4318)- 6% MAXXSEAL							
INFORMACION GENERAL							
TIPO DE MATERIAL:	Arcilla						
CANTERA:	Cerrillo						
ASOCIACIÓN:	EL RESCATE DEL ALAMO S R						
CANTIDAD DE MUESTRA:	500 gr						
LÍMITES DE ATTERBERG DE MUESTRA PATRON							
DATOS	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			
Wt (gr)	27.80	27.80	27.30	27.50	28.10		
Wmh+t(gr)	43.30	41.70	38.80	40.40	39.20		
Wms+t(gr)	38.28	37.01	34.76	36.76	35.88		
Ww(gr)	5.02	4.69	4.04	3.64	3.32		
Wms(gr)	10.48	9.21	7.46	9.26	7.78		
W%	47.90	50.92	54.16	39.31	42.67		
N° DE GOLPES	27.00	21.00	14.00				
LL-LP	51.00 %			41.00 %			
INDICE DE PLÁSTICIDAD	10.00 %						
LÍMITE LÍQUIDO							
							
							
Límite plástico							
OBSERVACIONES - COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera	
Nombre:	Victor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:	

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>													
	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
	Nombre de investigación: <b>CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.</b>													
	Investigador: Karen Estefany Palomino Terán					Coordenadas:								
	Ubicación: Cerrillo					Este: 777134.42								
Fecha: 04/05/2016					Norte: 9211311.98									
Material: Color marrón					Cota: 2705									
Horas de trabajo:		De:	3.00pm	Hasta:	7.00 pm	Protocolo:	N°	14	Hoja:	1 de 1				
<b>PROCTOR MODIFICADO NTP 339.141 (ASTM D 1557)- 6% MAXXSEAL</b>														
<b>INFORMACION GENERAL</b>														
TIPO DE MATERIAL :	Arcilla													
CANTERA :	Cerrillo													
ASOCIACIÓN :	El rescate del Alamo													
CANTIDAD DE MUESTRA:	30000 gr													
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDE N°3		MOLDE N°4							
Peso molde (gr)	4192.00		4192.00		4192.00		4192.00							
Pmh+molde(gr)	5968.00		6007.00		6038.00		6028.00							
Pmh (gr)	1776.00		1815.00		1846.00		1836.00							
Vmh(cm3)	937.38		937.38		937.38		937.38							
Dh(gr/cm3)	1.8946		1.936		1.969		1.959							
Recipiente N°	a	b	c	d	e	f	g	h						
Pt(gr)	27.10	27.00	27.10	27.10	26.90	27.30	27.10	27.00						
Pmh+t(gr)	284.90	209.90	303.20	239.50	184.90	281.50	240.90	288.60						
Pms+t(gr)	255.30	189.00	269.30	213.30	162.90	246.10	209.10	248.90						
Pw(gr)	29.60	20.90	33.90	26.20	22.00	35.40	31.80	39.70						
Pms(gr)	228.20	162.00	242.20	186.20	136.00	218.80	182.00	221.90						
W(%)	12.97	12.90	14.00	14.07	16.18	16.18	17.47	17.89						
Wprom (%)	12.936		14.034		16.178		17.681							
Ds(gr/cm3)	1.678		1.698		1.695		1.664							
					<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td><b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b></td> <td>1.705</td> </tr> <tr> <td><b>HUMEDAD OPTIMA</b></td> <td>15.040</td> </tr> </table>						<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b>	1.705	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	15.040
<b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)</b>	1.705													
<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	15.040													
<b>OBSERVACIONES - COMENTARIO</b>														
<b>APROBACIÓN</b>														
Coordinador de Laboratorio			Asesor de Tesis			Investigador			Director de Carrera					
Nombre:	Victor Cuzco Minchán		Nombre:	Irene Ravines Azañero		Nombre:	Karen Palomino Terán		Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga				
Fecha:			Fecha:			Fecha:			Fecha:					
Firma:			Firma:			Firma:			Firma:					






UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE										
FACULTAD DE INGENIERÍA										
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL										
		<b>Nombre de investigación:</b> CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								
		<b>Investigador:</b> Karen Estefany Palomino Terán						<b>Coordenadas:</b>		
		<b>Ubicación:</b> Cerrillo						Este: 777134.42		
		<b>Fecha:</b> 31/05/2016						Norte: 9211311.98		
		<b>Material:</b> Color marrón						Cota: 2705		
		<b>Horas de trabajo:</b> De: 11.15 am						Hasta: 3.00 pm		
		<b>Protocolo:</b> N° 15			Hoja: 2			de: 5		
CBR-AASHTO T193-99-6% MAXXSEAL										
INFORMACION GENERAL										
<b>TIPO DE MATERIAL:</b>		Arcilla								
<b>CANTERA:</b>		Cerrillo								
<b>ASOCIACIÓN:</b>		El rescate del Alamo								
<b>CANTIDAD DE MUESTRA:</b>		18000 gr								
LECTURAS DE HINCHAMIENTO										
DATOS		Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
		Hinchamiento			Hinchamiento			Hinchamiento		
(Horas)	(Días)	N°	(mm)	(%)	N°	(mm)	(%)	N°	(mm)	(%)
0	0	1	0	0.000	1	0	0.00	1	0	0
24	1	2	0.015	0.012	2	0.080	0.06	2	0.002	0.002
48	2	3	0.018	0.014	3	0.012	0.01	3	0.003	0.002
72	3	4	0.020	0.015	4	0.015	0.01	4	0.004	0.003
96	4	5	0.023	0.018	5	0.019	0.01	5	0.005	0.004
Altura muestra compactada		12.80								
OBSERVACIONES - COMENTARIO										
APROBACIÓN										
<b>Coordinador de Laboratorio</b>		<b>Asesor de Tesis</b>			<b>Investigador</b>			<b>Director de Carrera</b>		
<b>Nombre:</b>	Víctor Cuzco Minchán	<b>Nombre:</b>	Irene Ravines Azañero		<b>Nombre:</b>	Karen Palomino Terán		<b>Nombre:</b>	Orlando Aguilar Aliaga	
<b>Fecha:</b>		<b>Fecha:</b>			<b>Fecha:</b>			<b>Fecha:</b>		
<b>Firma:</b>		<b>Firma:</b>			<b>Firma:</b>			<b>Firma:</b>		


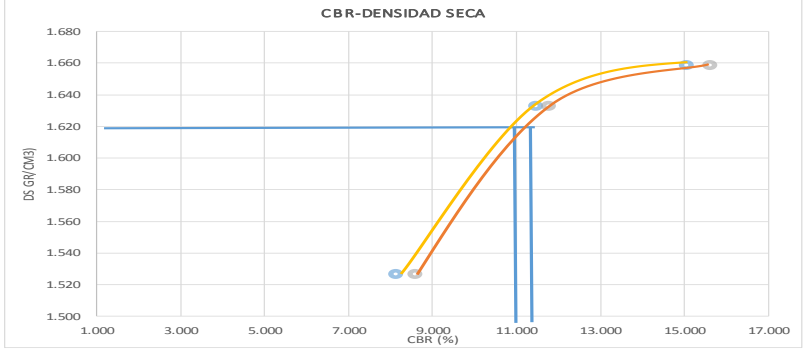
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE											
FACULTAD DE INGENIERÍA											
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL											
Nombre de investigación:			CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.								
Investigador:			Karen Estefany Palomino Terán				Coordenadas:				
Ubicación:			Cerrillo				Este: 777134.42				
Fecha:			31/05/2016				Norte: 9211311.98				
Material:			Color marrón				Cota: 2705				
Horas de trabajo:			De: 11.15 am		Hasta: 3.00 pm						
Protocolo:			N° 15		Hoja: 2		de: 5				
CBR-AASHTO T193-99-6% MAXXSEAL											
INFORMACION GENERAL											
TIPO DE MATERIAL:			Arcilla								
CANTERA:			Cerrillo								
ASOCIACIÓN:			El rescate del Alamo								
CANTIDAD DE MUESTRA:			18000 gr								
LECTURAS DE PENETRACIÓN											
PENETRACION			Molde N°1			Molde N°2			Molde N°3		
Medida	mm	Pulg	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg 2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg2)	N° de Divisiones	Carga (lb)	Esfuerzo(lb/pulg 2)
1	0	0.000	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
2	0.64	0.025	14	105	33.42	24	180	57.30	32	240	76.40
3	1.27	0.050	22	165	52.52	33	247.5	78.78	45	337.5	107.43
4	1.91	0.075	28	210	66.85	41	307.5	97.88	55	412.5	131.31
5	2.54	0.100	34	255	81.17	48	360	114.59	63	472.5	150.41
6	3.17	0.125	40	300	95.50	55	412.5	131.31	77	577.5	183.83
7	3.81	0.150	45	337.5	107.43	62	465	148.02	85	637.5	202.93
8	4.45	0.175	50	375	119.37	68	510	162.34	92	690	219.64
9	5.08	0.200	54	405	128.92	74	555	176.67	98	735	233.96
10	6.35	0.250	56	420	133.69	77	577.5	183.83	103	772.5	245.90
11	7.62	0.300	58	435	138.47	78	585	186.22	104	780	248.29
12	8.89	0.350	60	450	143.24	80	600	190.99	107	802.5	255.45
13	10.16	0.400	63	472.5	150.41	82	615	195.77	109	817.5	260.22
14	11.43	0.450	65	487.5	155.18	84	630	200.54	110	825	262.61
15	12.7	0.500	67	502.5	159.95	86	645	205.31	111	832.5	265.00

Diametro de Pison	2.00
Factor de Carga	7.50

Penetracion	0.1(")	0.2(")
Molde 01	81.17	128.92
Molde 02	114.59	176.67
Molde 03	150.41	233.96

OBSERVACIONES - COMENTARIO									
APROBACIÓN									
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera			
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga		
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:			
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:			

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE							
FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.				
	Investigador:	Karen Estefany Palomino Terán				Coordenadas:	
	Ubicación:	Cerrillo				Este:	777134.42
	Fecha muestreo:	31/05/2016				Norte:	9211311.98
	Material:	Color marrón				Cota:	2705
	Protocolo:	N°	15	Hoja:	4	de:	5
CBR-AASHTO T193-99-6% DE MAXXSEAL 100							
INFORMACION GENERAL							
TIPO DE MATERIAL :	Arcilla						
CANTERA :	Cerrillo						
ASOCIACIÓN :	El rescate del Alamo						
CANTIDAD DE MUESTRA:	18000 gr						
ESFUERZOS PARA 01" Y 02" DE PENETRACION							
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3		
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"	
Esfuerzo Terreno (lb/plg2)	81.17	128.92	114.59	176.67	150.41	233.96	
Esfuerzo Patrón (lb/plg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500	
CBR (%)	8.12	8.59	11.46	11.78	15.04	15.60	
OBSERVACIONES - COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera	
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Palomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:	

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE							
FACULTAD DE INGENIERÍA							
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL							
	Nombre de investigación: CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.						
	Investigador: Karen Estefany Palomino Terán					Coordenadas:	
	Ubicación: Cerrillo					Este: 777134.42	
	Fecha muestreo: 31/05/2016					Norte: 9211311.98	
	Material: Color marrón					Cota: 2705	
Protocolo: N°		15		Hoja: 5		de: 5	
CBR-AASHTO T193-99-6% DE MAXXSEAL 100							
INFORMACION GENERAL							
TIPO DE MATERIAL :	Arcilla						
CANTERA :	Cerrillo						
ASOCIACIÓN :	El rescate del Alamo						
CANTIDAD DE MUESTRA:	18000 gr						
CBR Y DENSIDAD SECA							
MOLDE N°	MOLDE N°1		MOLDE N°2		MOLDES N°3		
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"	
CBR (%)	8.117	8.595	11.46	11.78	15.04	15.60	
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	1.526	1.526	1.633	1.633	1.658	1.658	
							
Ds Max =	1.71 gr/cm <sup>3</sup>	CBR (0.1")	11.00%				
95% Ds Max=	1.62 gr/cm <sup>3</sup>	CBR(0.2")	11.70%				
OBSERVACIONES - COMENTARIO							
APROBACIÓN							
Coordinador de Laboratorio		Asesor de Tesis		Investigador		Director de Carrera	
Nombre:	Víctor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Plomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:	

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>						
	FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
	Nombre de investigación:		CAPACIDAD PORTANTE (CBR) DE UN SUELO ARCILLOSO, CON LA INCORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100.				
	Investigador :	Karen Estefany Palomino Terán		Coordenadas:			
	Ubicación:	Cerrillo		Este: 777134.42			
Fecha muestreo:	15/06/2016		Norte: 9211311.98				
Material:	Color marrón		Cota: 2705				
Protocolo:	N° 14	Hoja: 5	de: 5				
<b>DENSIDAD (gr/cm3)</b>							
<b>INFORMACION GENERAL</b>							
TIPO DE MATERIAL :	Agua-Estabilizador Maxxseal 100						
PRESIÓN :	1 ATM						
TEMPERATURA :	4°C						
<b>DENSIDAD DEL AGUA CON LA INCOORPORACIÓN DEL ESTABILIZADOR MAXXSEAL 100</b>							
PROBETA N°	PROBETA N°1	PROBETA N°2	PROBETA N°3	PROBETA N°7			
PORCENTAJE DEL ESTABILIZADOR	0%	2%	4%	6%			
DENSIDAD (gr/cm3)	1.00	4.00	5.50	9.00			
							
DENSIDAD							
<b>OBSERVACIONES - COMENTARIO</b>							
<b>APROBACIÓN</b>							
<b>Coordinador de Laboratorio</b>		<b>Asesor de Tesis</b>		<b>Investigador</b>		<b>Director de Carrera</b>	
Nombre:	Victor Cuzco Minchán	Nombre:	Irene Ravines Azañero	Nombre:	Karen Plomino Terán	Nombre:	Orlando Aguilar Aliaga
Fecha:		Fecha:		Fecha:		Fecha:	
Firma:		Firma:		Firma:		Firma:	

