



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO.**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL.**

**USO DE POLÍMEROS COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS  
APLICADO EN VÍAS DE ARCILLA (CL) Y GRAVA ARCILLOSA (GC).**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO A  
OPTAR EL GRADO DE INGENIERO CIVIL.**

**AUTORES:**

**ALEJANDRA PAULETTE ZAMBRANO YAGUAL.**

**MANUEL ANDRÉS CASANOVA ZAMBRANO.**

**TUTORA:**

**ING. CARMEN TERREROS, MSc. PhD.**

**SAMBORONDON 2016.**

## **APROBACION DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Ing. Carmen Terreros, en condición de Tutora del Trabajo realizado por la Sra. Alejandra Zambrano Yagual y el Sr. Manuel Casanova Zambrano, titulado USO DE POLÍMEROS COMO ESTABILIZADOR DE SUELOS APLICADO EN VÍAS DE ARCILLA (CL) Y GRAVA ARCILLOSA (GC), para optar por el título en Ingeniería Civil, considero que dicho trabajo reúne todos los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Samborondón, a los 10 días del mes de Febrero del año 2016.

---

**Ing. CARMEN TERREROS, MSc. PhD.**  
Tutora de Tesis.

## **DEDICATORIA.**

Dedico este trabajo a mis padres Ab. Carlos Zambrano Valdez y Lic. Alexia Yagual Panchana, MSc. ya que su apoyo ha sido incondicional en todas las etapas de mi vida, en especial en el camino para obtener el título de Ing. Civil. Además, por haberme dado la confianza necesaria para llevar mis estudios de la manera correcta gracias a los valores que ellos inculcaron en mí y siempre haberme facilitado todas las herramientas necesarias para que yo realice mis estudios.

A mi tía Consuelo Yagual Núñez, por su apoyo y cuidado cuando llegué desde otra ciudad a estudiar a Guayaquil, estando siempre junto a mí para ayudarme en lo posible para así cumplir con la obtención de mi título de Ingeniera Civil.

**Alejandra Zambrano Yagual.**

**DEDICATORIA.**

Esta tesis va dedicada a mis padres Ab. Juver Casanova Zambrano. Msc y Sra. Mayerlin Zambrano Molina, ya que gracias a ellos hoy estoy logrando una de mis metas en la vida, mi profesión. Ellos con todo su esfuerzo me apoyaron en todo momento dándome los recursos, los valores para saber llevar mis años de estudio y llenos de paciencia para que yo realice mis estudios de la manera que yo crea conveniente.

A mi tía Nelly Casanova, que desde el colegio siempre estuvo ahí para apoyarme de la misma manera que mis padres, aconsejándome y preocupada de que realice mis estudios de manera integra y cumpla con la obtención de mi título lo mas pronto posible.

A mis hermanos Verónica, Carolina y Juver, que me guiaron cuando llegué a Guayaquil y me apoyaron en todo momento de mi carrera.

**Manuel Casanova Zambrano.**

### **RECONOCIMIENTO.**

- A la UEES por brindarnos la posibilidad de realizar nuestra carrera y educarnos con buenas costumbres y valores a lo largo de la vida como estudiantes. Así como llenarnos de conocimientos gracias a los profesionales pertinentes que impartieron cada una de las clases.
- A nuestro Director de Escuela, Ing. Urbano Caicedo, por el apoyo incondicional ante cualquier situación que se presentó en nuestros estudios, sabiéndonos guiar de la manera correcta.
- A nuestra Profesora y Tutora, Ing. Carmen Terreros, por darnos todos los conocimientos que debemos tener para ser profesionales integrales, así como su dedicación para realizar este trabajo de titulación, sabiéndonos instruir en todo momento.

- A nuestros padres y familiares en general, que supieron apoyarnos desde el primer día en que iniciamos nuestra ruta a ser profesionales.

## **RESUMEN.**

Este trabajo de titulación fue creado con el fin de determinar si el uso de Polímeros sirve para lograr estabilizar un suelo arcilloso y una grava arcillosa, controlando los volúmenes de tierra en los ensayos para obtener la relación óptima suelo – polímero y lograr mayores resistencias.

Se realizaron ensayos de CBR de 12, 25 y 56 golpes partiendo con el suelo arcilloso en estado natural para determinar el porcentaje CBR natural, luego se realizaron 5 ensayos adicionales con variaciones de porcentajes y así tener el contenido de producto óptimo. Los ensayos se repitieron para la grava arcillosa utilizando los mismos procedimientos.

Posteriormente, se realizaron ensayos de compresión simple para determinar la resistencia del suelo al recibir cargas, así como también el comportamiento del suelo y el modo de fractura en estado natural y con variaciones en porcentajes de productos.

Se hicieron modelos matemáticos para observar como se comporta el suelo al tener diferentes porcentajes de producto y para finalizar, diseños de pavimentos para comparar los espesores de asfalto, base y sub-base y así lograr hacer una comparativa de costos, teniendo una base Arcilla (CL) mejorada con Polímero y una base mejorada con traslado de material de otro sitio.

#### **ABSTRACT.**

This work was created to determine if the use of polymers makes for stabilizing a clay soil and clay gravel, controlling soil volumes in trials to get the optimal relationship soil-polymer and making greater resistance.

CBR tests with 12, 25 and 56 strokes, starting with naturally occurring clay soil to determine the CBR percentage naturally performed, then 5 additional tests were performed with varying percentages and then had the optimum product content. The tests were repeated for clayey gravel using the same procedures.

Subsequently, simple compression tests were conducted to determine the resistance of the soil to receive loads, as well as soil behavior and the natural fracture mode and product variations in percentages state.

Mathematical models were made to see how the soil works having different percentages of product, and finally, pavement designs to compare the thickness of asphalt, base and sub-base, and get a comparative cost taking a Clay Base ( CL) polymer enhanced, and another base improved with material transferred from another site.

## ÍNDICE.

|                                                               |                  |
|---------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><u>RESUMEN</u></b>                                         | <b><u>v</u></b>  |
| <b><u>INTRODUCCIÓN</u></b>                                    | <b><u>1</u></b>  |
| <b><u>CAPÍTULO I</u></b>                                      | <b><u>2</u></b>  |
| 1.1. <b><u>ANTECEDENTES</u></b>                               | <b><u>2</u></b>  |
| 1.2. <b><u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u></b>                 | <b><u>2</u></b>  |
| 1.3. <b><u>DELIMITACIÓN DEL OBJETIVO</u></b>                  | <b><u>4</u></b>  |
| 1.4. <b><u>PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</u></b>                 | <b><u>4</u></b>  |
| 1.5. <b><u>OBJETIVOS</u></b>                                  | <b><u>5</u></b>  |
| <b><u>151 OBJETIVO GENERAL</u></b>                            | <b><u>5</u></b>  |
| <b><u>152 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></b>                       | <b><u>5</u></b>  |
| 1.6. <b><u>JUSTIFICACIÓN</u></b>                              | <b><u>5</u></b>  |
| <b><u>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</u></b>                       | <b><u>7</u></b>  |
| <b><u>2.1. ORIGEN DE LOS SUELOS</u></b>                       | <b><u>7</u></b>  |
| <b><u>2.2. ARCILLAS</u></b>                                   | <b><u>8</u></b>  |
| <b><u>2.2.1. TIPO DE ARCILLAS</u></b>                         | <b><u>9</u></b>  |
| <b><u>2.3. GRAVAS</u></b>                                     | <b><u>10</u></b> |
| <b><u>24 SISTEMA DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS AASTO</u></b> | <b><u>10</u></b> |
| <b><u>2.4.1. SUELOS GRANULARES</u></b>                        | <b><u>11</u></b> |

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2.4.2 SUELOS FINOS</b>                                  | <b>12</b> |
| <b>2.5. LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>                        | <b>12</b> |
| <b>2.6. COMPACTACIÓN PROCTOR</b>                           | <b>13</b> |
| <b>2.7. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</b>                 | <b>14</b> |
| <b>2.8. COMPRESION SIN CONFINAMINETO Ó SIMPLE</b>          | <b>14</b> |
| <b>2.9. ESTABILIZACION DE SUELO</b>                        | <b>15</b> |
| <b>2.9.1. PROCEDIMIENTOS PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS</b> | <b>15</b> |
| <b>2.9.1.1. COMPACTACIÓN DEL SUELO</b>                     | <b>15</b> |
| <b>2.9.1.2. ESTABILIDAD VOLUMÉTRICA</b>                    | <b>16</b> |
| <b>2.9.1.3. PERMEABILIDAD</b>                              | <b>16</b> |
| <b>2.9.1.4. DURABILIDAD</b>                                | <b>16</b> |
| <b>2.10 POLÍMEROS</b>                                      | <b>16</b> |
| <b>2.10.1. COMPOSICIÓN DE POLÍMEROS</b>                    | <b>17</b> |
| <b>2.10.2. BENEFICIOS DE POLÍMEROS</b>                     | <b>18</b> |
| <b>CAPITULO III METODOLOGÍA</b>                            | <b>20</b> |
| <b>3.1. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>                  | <b>20</b> |
| <b>3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>                          | <b>20</b> |
| <b>3.3. NOVEDAD Y VIABILIDAD</b>                           | <b>20</b> |
| <b>3.4. POBLACIÓN O UNIVERSO</b>                           | <b>21</b> |
| <b>3.5 .MUESTRA</b>                                        | <b>21</b> |
| <b>3.6. INSTRUMENTOS, HERRAMIENTAS Y PROCEDIMIENTOS</b>    | <b>21</b> |
| <b>3.6.1. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>                         | <b>21</b> |
| <b>3.6.2. LÍMITES DE ATTERBERG</b>                         | <b>22</b> |
| <b>3.6.2.1. LÍMITE LÍQUIDO</b>                             | <b>23</b> |
| <b>3.6.2.2. LÍMITE PLÁSTICO</b>                            | <b>24</b> |
| <b>3.6.2.3. ÍNDICE PLÁSTICO</b>                            | <b>25</b> |
| <b>3.6.3. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>                 | <b>26</b> |
| <b>3.6.4. SUELO – POLÍMERO</b>                             | <b>27</b> |
| <b>3.6.4.1. POLÍMERO PARA BASE</b>                         | <b>28</b> |
| <b>3.6.4.2. POLÍMERO PARA SUPERFICIE</b>                   | <b>28</b> |
| <b>3.6.4.3. RELACIÓN SUELO POLÍMERO</b>                    | <b>28</b> |
| <b>3.6.5. ENSAYO CBR</b>                                   | <b>30</b> |
| <b>3.6.6. ENSAYO COMPRESION SIN CONFINAMIENTO</b>          | <b>33</b> |
| <b>CAPITULO IV ENSAYOS Y RESULTADOS</b>                    | <b>36</b> |
| <b>4.1. GRANULOMETRÍA</b>                                  | <b>36</b> |

|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| <b>4.2. LIMITES DE CONSISTENCIA</b>         | <b>37</b> |
| <b>4.3. PROCTOR MODIFICADO</b>              | <b>38</b> |
| <b>4.3.1. ARCILLA</b>                       | <b>38</b> |
| <b>4.3.2. GRAVA ARCILLOSA</b>               | <b>39</b> |
| <b>4.4 ENSAYOS CBR</b>                      | <b>40</b> |
| <b>4.4.1. SUELO ARCILLOSO</b>               | <b>40</b> |
| <b>A- ENSAYO EN ESTADO NATURAL</b>          | <b>40</b> |
| <b>B- ENSAYO CON POLÍMERO 12 ML (0,30%)</b> | <b>44</b> |
| <b>C- ENSAYO CON POLÍMERO 20 ML (0,5%)</b>  | <b>48</b> |
| <b>D- ENSAYO CON POLÍMERO 30 ML (0,75%)</b> | <b>52</b> |
| <b>E- ENSAYO CON POLÍMERO 50 ML (1,25%)</b> | <b>56</b> |
| <b>F- ENSAYO CON POLÍMERO 70 ML (1,75%)</b> | <b>60</b> |
| <b>4.4.2. GRAVA ARCILLOSA</b>               | <b>64</b> |
| <b>A- ENSAYO EN ESTADO NATURAL</b>          | <b>64</b> |
| <b>B- ENSAYO CON POLÍMERO 12 ML (0,30%)</b> | <b>68</b> |
| <b>C- ENSAYO CON POLÍMERO 20 ML (0,5%)</b>  | <b>72</b> |
| <b>D- ENSAYO CON POLÍMERO 30 ML (0,75%)</b> | <b>76</b> |
| <b>E- ENSAYO CON POLÍMERO 50 ML (1,25%)</b> | <b>80</b> |
| <b>F- ENSAYO CON POLÍMERO 70 ML (1,75%)</b> | <b>84</b> |
| <b>4.5. ENSAYOS DE HINCHAMIENTO</b>         | <b>88</b> |
| <b>A- ARCILLA</b>                           | <b>88</b> |
| <b>B- GRAVA ARCILLOSA</b>                   | <b>89</b> |
| <b>4.6. ENSAYOS COMPRESIÓN SIMPLE</b>       | <b>90</b> |
| <b>4.6.1. SUELO ARCILLOSO</b>               | <b>90</b> |
| <b>A- ENSAYO EN ESTADO NATURAL</b>          | <b>90</b> |
| <b>B- ENSAYO CON POLÍMERO (0,50%)</b>       | <b>92</b> |
| <b>C- ENSAYO CON POLÍMERO (0,75%)</b>       | <b>94</b> |
| <b>D- ENSAYO CON POLÍMERO (1,25%)</b>       | <b>96</b> |

|                                                               |                |
|---------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>4.6.2. GRAVA ARCILLOSA</b>                                 | <b>98</b>      |
| <b>A- ENSAYO EN ESTADO NATURAL</b>                            | <b>98</b>      |
| <b>B- ENSAYO CON POLÍMERO (0,50%)</b>                         | <b>(0,50%)</b> |
| <b>100</b>                                                    |                |
| <b>C- ENSAYO CON POLÍMERO (0,75%)</b>                         | <b>(0,75%)</b> |
| <b>102</b>                                                    |                |
| <b>D- ENSAYO CON POLÍMERO (1,25%)</b>                         | <b>(1,25%)</b> |
| <b>104</b>                                                    |                |
| <b>4.7. CUADROS DE RESUMEN</b>                                | <b>106</b>     |
| <b>A- ARCILLA</b>                                             |                |
| <b>106</b>                                                    |                |
| <b>B- GRAVA ARCILLOSA</b>                                     | <b>107</b>     |
| <b>4.8. MODELOS MATEMÁTICOS</b>                               |                |
| <b>108</b>                                                    |                |
| <b>4.8.1. CBR EN GRAVA ARCILLOSA</b>                          | <b>108</b>     |
| <b>4.8.2. CBR EN ARCILLA</b>                                  | <b>110</b>     |
| <b>4.8.3. “QU” EN GRAVA ARCILLOSA</b>                         | <b>112</b>     |
| <b>112</b>                                                    |                |
| <b>4.8.4. “QU” EN ARCILLA</b>                                 | <b>114</b>     |
| <b>114</b>                                                    |                |
| <b>4.9. DISEÑO DE PAVIMENTO</b>                               | <b>116</b>     |
| <b>4.9.1. DISEÑO DE PAVIMENTO CON BASE DE ARCILLA</b>         | <b>120</b>     |
| <b>4.9.1.1. ARCILLA EN ESTADO NATURAL</b>                     | <b>120</b>     |
| <b>4.9.1.2. ARCILLA MEJORADA CON 1,25% DE POLÍMERO</b>        |                |
| <b>123</b>                                                    |                |
| <b>4.9.2. DISEÑO DE PAVIMENTO CON BASE DE GRAVA ARCILLOSA</b> | <b>126</b>     |
| <b>4.9.2.2. GRAVA ARCILLOSA MEJORADA 0,75% POLÍMERO</b>       |                |
| <b>129</b>                                                    |                |
| <b>4.9.3. CUADRO COMPARATIVO DE DISEÑOS DE PAVIMENTO</b>      | <b>132</b>     |
| <b>4.10 CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS</b>                      | <b>133</b>     |
| <b>4.10.1. COSTOS VIA DE 1 KM, PROCESO TRADICIONAL</b>        |                |
| <b>133</b>                                                    |                |
| <b>4.10.2. COSTOS VIA DE 1 KM MEJORADA</b>                    |                |
| <b>134</b>                                                    |                |
| <b>4.11 CUADRO GLOBAL DE ENSAYOS</b>                          | <b>136</b>     |

|                                           |                   |
|-------------------------------------------|-------------------|
| <b><u>CAPÍTULO V CONCLUSIONES</u></b>     | <b><u>137</u></b> |
| <b><u>CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES</u></b> | <b><u>139</u></b> |
| <b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>                | <b><u>140</u></b> |
| <b><u>ANEXOS</u></b>                      |                   |
| <b><u>142</u></b>                         |                   |

## **INTRODUCCIÓN.**

Este trabajo investigativo tiene como objetivo de estudio la estabilización de suelo arcilloso y grava arcillosa, los cuales fueron extraídos de Guayaquil y Los Ríos, siendo estos los mas comunes en esta ciudad.

Los problemas presentes para el país y para las personas que viven en zonas rurales son grandes, ya que la falta de vías de buena calidad no les dan una buena calidad de vida por la dificultad de movilidad, no poder transportar productos y enfermedades como gripe o dengue en diferentes temporadas del año.

La estabilización de suelos es un proceso completo que brinda tener vías de buena calidad, reduciendo los daños con el paso del tiempo, logrando una buena compactación del suelo, mejorando las resistencia cortantes, bajando los costos de las vías ya que se reutiliza el suelo del sitio y no se afecta el medio ambiente.

Lo que se desea dar a conocer son los porcentajes que se necesitan para lograr la estabilización de una Arcilla y una Grava Arcillosa mediante la realización de ensayos de laboratorios a las muestras obtenidas y modelos matemáticos de estimación de comportamiento del

suelo para llegar a un resultado positivo. Los ensayos están acorde a lo requerido en las normas ASTM y ASSHTO.

## **CAPÍTULO I.**

### **1.7. ANTECEDENTES.**

Un problema grave con el que se topan las obras civiles, es la incapacidad de poder trabajar con cualquier tipo de suelo, ya que estos no cumplen con especificaciones o resistencias para cargas de tráfico o capa asfáltica, por lo que la solución es mover grandes cantidades de suelos, que encarecen los costos, además de afectaciones al medio.

Por tal motivo, actualmente se emplean un sin número de métodos para estabilizar suelos y poder reutilizar el del sitio donde se vaya a trabajar, dando mayor vida útil, reduciendo costos de mantenimientos y obteniendo comportamientos mecánicos similares a suelos de óptima calidad.

En Ecuador, tenemos deficiencia en vías terrestres sobre todo en zonas rurales, donde por el tipo de suelo, los pocos mantenimientos que se realizan, provocan que el deterioro sea muy rápido, considerando que dicho mantenimiento consiste en enraizar las vías, lo que conlleva que la base o sub-base no tengan la resistencia adecuada a las cargas de tráfico.

## **1.8. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El desarrollo de las grandes naciones, empieza con grandes obras de ingeniería, para poder conectar regiones con vías de transportación acorde a las necesidades.

La deficiencia de vías de calidad provoca grandes problemas locales o nacionales como:

- Retraso en la entrega de productos y encarecimiento de los mismos, sabiendo que los caminos vecinales están ubicados precisamente en zonas agrícolas, lo que hace que el traslado de los productos sea difícil sobretodo en época de invierno.
- Dificil movilidad para las personas ya que los adultos deben trasladarse a sus trabajos y los niños deben ir a la escuela y, si no se tienen vías en buen estado implica mayor tiempo de traslado o si hay anegación de la vía y no hay transporte, movilizarse caminando.
- Enfermedades respiratorias por culpa del polvo que, en época de verano por la sequedad del suelo y sus partículas sueltas se levantan en el ambiente, dañando la salud de las personas. Por otro lado, enfermedades como dengue ya que en temporada de invierno, los charcos son criaderos de moscos.
- Mayor desgaste de los vehículos lo que provoca gastos permanentes a las personas que transitan diariamente por esa vía en mal estado o en caso de transportar alimentos, encarecimiento de los mismos ya que se carga el mantenimiento a los productos.

Ecuador tiene deficiencia en caminos vecinales, los cuales están bajo competencia de los gobiernos descentralizados, por tal motivo se ven

afectadas las actividades comerciales en zonas en las obras no llegan. Es precisamente en aquellos lugares, que paradójicamente, existen suelos de baja calidad. La presencia de un suelo arcilloso en una vía terrestre sin una estabilización previa, no brinda una base adecuada lo que resulta en el deterioro del mismo, debido a los problemas de retracción e hinchamiento que estos pueden presentar a lo largo de su vida útil.

Hay que considerar que existe recesión económica en el país, por lo que, la obra estatal se ve reducida y se deben buscar soluciones alternativas que permitan que lleguen obras a las zonas marginales sin que estas impliquen invertir grandes cantidades de dinero.

### **1.9. DELIMITACIÓN DEL OBJETIVO.**

- Se realizará ensayos de laboratorio a un suelo arcilloso y a una grava arcillosa.
- Este trabajo de investigación se limita a la utilización de Polímeros para estabilizar los suelos, realizando ensayos de laboratorio de Resistencia (CBR), de cargas concentradas (Compresión Simple) para determinar el porcentaje de producto que nos permita obtener mayores resistencias, ensayos de permeabilidad y diseños de pavimentos.

### **1.10. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.**

Las preguntas de investigación planteadas son:

- ¿Servirán los Polímeros para estabilizar los suelos a estudiar?.
- ¿Cuál es el porcentaje óptimo de Polímero, para obtener resultados favorables?.
- ¿Cómo aplicar el producto en sitio?

## **1.11. OBJETIVOS.**

### **1.5.1. Objetivo general.**

- Estabilizar un suelo arcilloso y una grava arcillosa mediante el uso de Polímeros.

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- Realizar ensayos de compresión simple y CBR a un suelo nativo y a un suelo mezclado con Polímeros.
- Determinar factibilidad técnica, económica y ecológica.
- Obtener los porcentajes óptimos del producto, para una buena estabilización.
- Diseñar pavimentos con suelo en estado natural y mejorados con Polímeros.

## **1.12. JUSTIFICACIÓN.**

Este trabajo de investigación se justifica en dar a conocer una nueva alternativa para solucionar los problemas de vialidad que existen en el país. El uso de polímeros estabilizadores, nos da la facilidad de obtener vías de mejor calidad, duraderas en el tiempo y que son amigables con el medio.

La estabilización de suelos, es una buena opción para reducir costos al tipo de construcción que actualmente se realizan ya que se puede trabajar con el suelo nativo, aumentando la resistencia y evitando

daños ambientales por el movimiento de tierra, así como también con mayor resistencia de suelo reducir la capa de asfalto, lo que representa reducción en el precio de la obra.

La arcilla y la Grava Arcillosa son los suelos más comunes en la costa, es por ello que se seleccionaron para estabilizarlos, sabiendo que la arcilla es un suelo de mala calidad, mientras que la grava arcillosa es un suelo utilizado en la provincia Guayas, esto permitirá tener dos puntos de vistas del comportamiento del polímero.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ORIGEN DE LOS SUELOS.

Es importante conocer que los suelos en general, se producen con el paso del tiempo, gracias a la desintegración de una roca madre y que por diferentes tipos de procesos, forman los tipos de suelos que conocemos.

Los procesos que afectan a la roca pueden ser químicos o físicos como:

#### Químicos:

- Oxidación, proceso realizado gracias al agua, el oxígeno del aire sumado con la humedad existente en el viento producen oxidación en las partículas de la roca.
- Carbonatación, proceso en el que también interviene el agua (H<sub>2</sub>O) +CO<sub>2</sub>, produciendo ácido carbónico que degrada las partículas, la caliza es muy atacable por este tipo de proceso.
- Hidratación, se combina el agua con un cuerpo, por lo que se producen hidratos, el agua es absorbida por la roca y se producen nuevos minerales.

### **Físicos:**

- Sol, calentando la superficie mas que el interior, lo que produce cambios de expansiones y esfuerzos muy fuertes, lo que fisura la roca y desprendimiento de la misma.
- Agua, ya que en movimiento actúa como elemento exfoliador en la roca y con el paso del tiempo produce erosión.
- Viento, arrastrando partículas de arena y formando suelos eólicos como médanos y loess.

## **2.2 ARCILLAS.**

Como término general de las arcillas, se las puede definir como de origen natural por la descomposición y degradación de rocas feldespáticas por millones de años, de aspecto terroso, con partículas finas menores a 0.005 mm que al ser mezcladas con agua, muestran comportamiento plástico (plasticidad). Se caracterizan también por tener Silicio(Si), Aluminio(Al) y Agua(H<sub>2</sub>O) en su composición química, combinadas en proporciones menores y no en todos los casos, con Hierro (Fe), Potasio(K), Sodio(Na), Calcio(Ca).

La palabra arcilla como tal, no posee relación con el origen de este material, ni de la roca madre de donde proviene.

Según diferentes ramas, podemos emplear la palabra arcilla desde diferentes maneras:

- a) Petrografía: tipo de roca.
- b) Mineralogía: minerales que poseen características estructurales propias.
- c) Granulometría: roca fraccionada en que las partículas de sus granos cumplen un rango específico de medida.

### **2.2.1 Tipo de Arcillas**

Tomando en cuenta su naturaleza, éstas son:

#### **Primarias.**

Este tipo de arcillas no han sido transportadas por el viento, glaciación o agua, por lo que se encuentran en el mismo sitio donde fueron formadas por la roca madre. Se distinguen por tener granos gruesos no plásticos, ser puras de color blanco y, sin contaminación de otros minerales, por ejemplo los caolines.

#### **Secundarias.**

Son las más comunes y a diferencia de las primarias, estas sí son trasladadas principalmente por el agua, lejos del lugar de la roca madre, su composición química presenta otros minerales como hierro y otras impurezas, por lo que, se hace más compleja su constitución.

Según la plasticidad de las arcillas, éstas pueden ser:

#### **Plásticas.**

Son arcillas que se pueden modelar con la presencia de agua, tomando una forma de pasta. Poseen en su composición altas cantidades de hierro, lo que le da una característica de mayor trabajabilidad.

### **No Plásticas.**

Este tipo de arcillas pueden ser quebradizas ya que poseen una estructura química inerte. No se pueden contraer por el tamaño de sus partículas o granos, por lo que casi no poseen resistencia en estado seco y, debido a ello, deben de ser mezcladas con otros minerales para lograr darle algo de plasticidad.

El caolín es un ejemplo típico de este tipo de arcillas.

### **2.3 GRAVAS.**

Tipo de suelo que se caracteriza por su origen, nace de una roca madre erosionada con el paso del tiempo. Su tamaño de grano varia de entre 2 mm hasta los 7.62 cm.

La forma de sus granos depende del agente físico que intervino en la degradación de la roca, ya que si es redondeada se debe a que al ser transportada por el agua, las puntas se desgastaron.

Generalmente se encuentran en grandes extensiones en los lechos de los ríos, depresiones y casi siempre rodeada de otros suelos como limos, arcillas o arenas.

### **2.4. SISTEMA DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS AASHTO.**

Sistema de clasificación mas antiguo en obras de ingeniería que evalúan los suelos para carreteras, en 1945 llamado AASHO y en la actualidad se ha convertido en AASHTO.

Este sistema separa el tipo de suelo entre Grueso y Fino considerando los porcentajes de los pasantes malla 200.

- a). Grueso: Menos de 35% pasa la malla 200
- b). Fino: Mayor al 35% pasa la malla 200.

Procedimiento que clasifica a los suelos en 7 grupos, considerando el tamaño de los granos, y límites de consistencia ( límite líquido e índice de plasticidad).

Tabla 1.

Clasificación de suelos y mezclas de suelos

| Clasificación general                                                                                      | Material granular<br>(35%, o menos pasa el tamiz N° 200) |                         |                   |                    |                   |                  |                  | Materiales limo- arcillosos<br>(Más del 35% pasa el tamiz N° 200) |                   |                   |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                                                                                            | A-1                                                      |                         | A-3               | A-2                |                   |                  |                  | A-4                                                               | A-5               | A-6               | A-7               |
| Subgrupo                                                                                                   | A-1a                                                     | A-1b                    |                   | A-2-4              | A-2-5             | A-2-6            | A-2-7            |                                                                   |                   |                   | A-7-5             |
| Porcentaje que pasa el tamiz:<br>N° 10 (2.00mm)<br>N° 40 (0.425mm)<br>N° 200 (0.075mm)                     | 50 máx.<br>30 máx.<br>15 máx.                            | -<br>50 máx.<br>25 máx. | 51 min<br>10 máx. | -<br>35 máx.       | -<br>35 máx.      | -<br>35 máx.     | -<br>35 máx.     | -<br>36 min                                                       | -<br>36 min       | -<br>36 min       | -                 |
| Características del material que pasa el tamiz N° 40 (0.425mm):<br>Limite líquido<br>Índice de plasticidad | -<br>6 máx.                                              |                         | -<br>NP           | 40 máx.<br>10 máx. | 41 min<br>10 máx. | 40 máx<br>11 min | 41 min<br>11 min | 40 máx.<br>10 máx.                                                | 41 min<br>10 máx. | 40 máx.<br>11 min | 41 min<br>11 min* |

Nota: Tomada de AASHTO: M145 - 73

### 2.4.1. Suelos Granulares

- **A-1.-** Suelo bien graduado, sin finos y poco plástico.

**A-1 a.-** Mayor cantidad de grava.

**A-1 b.-** Mayor cantidad de arena.

- **A-2.-** Menos de 35% de finos en su masa. Se subdividen en A-2-4 (gravas y arenas IP menor a 10), A-2-5 ( gravas con limos), A-2-6 ( gravas con arenas IP mayor 11), A-2-7 (gravas con arcillas).
- **A-3.-** Formado por arenas o gruesos que poseen casi nula plasticidad.

#### **2.4.2. Suelos Finos.**

- **A-4.-** Suelo predominantemente limoso, con poca plasticidad con presencia de arenas hasta en 64%.
- **A-5.-** Suelo limoso pero con elasticidad y límite líquido elevado.
- **A-6.-** Arcillas plásticas, con alto grado de expansividad.
- **A-7.-** Arcillas plásticas pero con elevada elasticidad.

**A-7 a.-** IP menor o igual a (WL – 30)

**A-7 b.-** IP mayor a (WL – 30)

#### **2.5. LÍMITES DE CONSISTENCIA.**

Ensayo utilizado en suelos finos para conocer el comportamiento de estos, fue creado por el científico Albert Atterberg y por ello se lo conoce también como Límites de Atterberg.

El principio básico de este ensayo esta en considerar los cuatro estados en que puede encontrarse un fino, dependiendo del contenido de humedad que posea, siendo sólido en seco, menos solido con poca humedad y, finalmente plástico o líquido con variaciones fuertes de humedad. Esa transición se la denomina límites de Atterberg.

**Límite Líquido.-** cuando el suelo pasa de su estado plástico a su estado líquido. Se lo obtiene en laboratorio con la copa de Casagrande.

**Límite Plástico.-** cuando el suelo pasa de su estado semisólido a su estado plástico.

**Límite de Contracción.-** se presenta con la pérdida de humedad del suelo, pasando de estado semisólido a su estado sólido.

Teniendo en cuenta los límites, se desprende el siguiente índice:

**Índice de Plasticidad.-** Rango entre humedades que permiten al suelo actuar plásticamente.

Se lo entiende también como:

$$IP = WL - WP$$

## 2.6. COMPACTACIÓN PROCTOR .

Este ensayo determina la calidad de compactación del suelo que se requiera en una obra civil, haciendo posible obtener el contenido de humedad óptimo y la densidad seca. De estos se obtiene una curva proctor, en la que determinamos la densidad seca máxima.

Creada por Ralph Proctor en 1933, hay dos variables de proctor, el modificado y el estándar, siendo la cantidad de energía empleada en la compactación, la diferencia de entre uno y otro.

Tabla 3.

Diferencias Proctor Modificado – Estándar.

| MÉTODO | #CAPAS | ALTURA<br>CAIDA | PESO<br>MARTILLO | #GOLPES | ENERGIA<br>COMPACTACIÓN |
|--------|--------|-----------------|------------------|---------|-------------------------|
|--------|--------|-----------------|------------------|---------|-------------------------|

---

|            |   |          |            |    |                          |
|------------|---|----------|------------|----|--------------------------|
| ESTANDAR   | 3 | 30,48 cm | 5,5 libras | 25 | 60,50 kg/m <sup>2</sup>  |
| MODIFICADO | 5 | 45,72 cm | 10 libras  | 56 | 275,27 kg/m <sup>2</sup> |

Nota: Elaboración Propia.

Para una compactación eficiente en obra, siempre es necesario para cuestiones de diseño, tomar en cuenta el 95% de la densidad seca máxima. Estos procedimientos se basan en la Norma ASTM (American Society for Testing Materials)

## **2.7. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR).**

Ensayo que busca conocer la resistencia al corte del suelo, en condiciones de humedad óptima y densidad seca máxima.

El valor obtenido se refiere a la relación de soporte carga unitaria que corresponda a 0,1” – 0,2” de profundidad. Este ensayo se rige por norma ASTM D 4429 – 93.

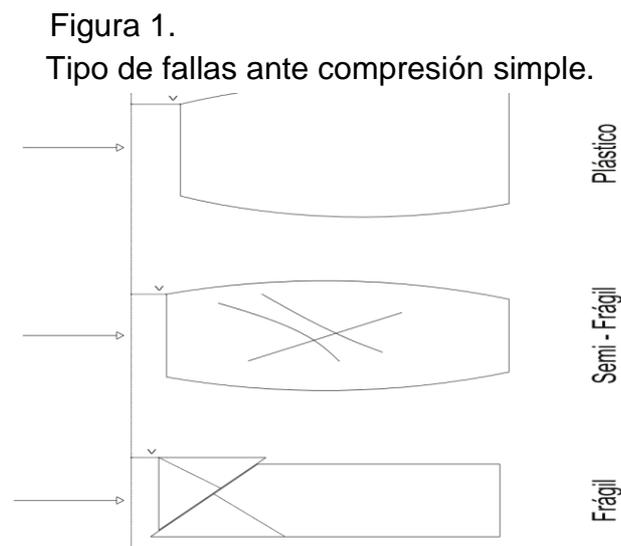
El valor de esfuerzo esta relacionado a la penetración en pulgadas, teniendo: 70 kg/cm<sup>2</sup> en 0,1 pulgadas de penetración y 105 kg/cm<sup>2</sup> en 0,2 pulgadas de penetración.

## **2.8. COMPRESION SIN CONFINAMINETO Ó SIMPLE.**

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial a la muestra, sin tener que pasar por la prueba de presión de agua que se realiza en ensayos triaxiales.

La importancia de la compresión simple es entender el comportamiento del suelo al estar sometido a una carga, teniendo en cuenta los esfuerzos que tendrá que soportar ya sea por puentes, carreteras, edificios, entre otros, para lo que se necesita bases sólidas.

Es importante considerar que este ensayo se lo realiza únicamente en suelos que tengan cohesión, ya que deben mantener el confinamiento de la muestra al momento de aplicar la carga, en arenas o suelos no cohesivos, al no poder ser confinados, no pueden ser sometidos a pruebas de compresión simple. El tipo de falla obtenida en los ensayos, determinará el comportamiento del suelo ante la aplicación de una carga, ya sea un material frágil o plástico.



Nota: Tomada del libro C-Terreros. Mecánica de Suelos y Asfalto (pág. 100).

## 2.9. ESTABILIZACION DE SUELO.

Técnica que consiste en la mezcla de diversos materiales que complementan los materiales existentes, resultando un nuevo que brinda mayor resistencia y calidad que cumplan con los requisitos de cada obra.

La estabilización busca además de aumentar la resistencia del suelo, solidificar la masa para evitar que las condiciones de humedad sean alteradas y mantener una variación volumétrica estable, ya sea pequeña o nula.

### 2.9.1. Procedimientos para Estabilización de Suelos.

### **2.9.1.1. Compactación del Suelo**

Procedimiento que consiste en la aplicación de energía directamente en el suelo para eliminar vacíos que existan dentro de la masa, por lo que, se logra una mejor resistencia portante y estabilidad.

Se realiza por medio de maquinaria pesada ó compactadores de mano en pequeños volúmenes de suelo.

### **2.9.1.2. Estabilidad Volumétrica**

Consiste en rigidizar la masa de suelo, con una unión fuerte de sus partículas, que permita resistir la presión expansiva y mantener el volumen de diseño del suelo.

### **2.9.1.3. Permeabilidad.**

Consiste en mejorar el valor de absorción del suelo, por medio de polímeros mas la ayuda de una compactación adecuada, y así, mejorar la resistencia como ya se menciona en el punto 2.9.1.1.

### **2.9.1.4. Durabilidad.**

Resistencia de un suelo al estar sometido a la intemperie, erosión por tráfico, o agentes químicos que puedan afectar a las características de los suelos, como por ejemplo sulfatos en suelos arcillosos que puedan deteriorar la superficie.

## **2.10. POLÍMEROS.**

Para hablar de polímeros como un sistema para mejoramiento de suelos, es importante tener claro el concepto de lo que es un polímero y su funcionamiento.

Proviene del vocablo “poli”, muchos, y “meros”, parte. La unidad o molécula que forma una sustancia recibe el nombre de "monómero", cuando se forma por 2 o más unidades son denominadas co-polímeros.

Los polímeros son el resultado de la fusión de miles de moléculas (monómeros) formando cadenas de diferentes formas.

Cuando en una sustancia, las partículas forman un peso molecular mayor a 10.000 g/mol, reciben el nombre general de sustancias macromoleculares.

The Global Soil Group es una compañía que utiliza los beneficios de los polímeros para lograr un método eficiente para estabilización de suelos, control de polvo y agregar resistencia a suelos que no poseen una buena calidad. Lo definen como *“mezcla química de co-polímeros suspendidos en líquido, el cual permite modificar las características de la mayoría de los suelos y crear una compactación rígida de su superficie, con un nivel de resistencia adecuado para la creación de vías de comunicación entre sus principales usos.”* (Global Soil Group, 2014)

La estabilización de suelo mediante la implementación de polímeros es un proceso como alternativa a las vías, mediante el mezclado de suelo del lugar con estas soluciones químicas.

El producto que se debe utilizar tiene que ser líquido, para que se pueda homogenizar con el agua, el porcentaje de producto dependerá del tipo de obra y lo que requiera la calidad del suelo.

Para una correcta utilización de un polímero, las recomendaciones para la aplicación son:

- Conocer el suelo y las características
- Determinar la profundidad deseada a estabilizar de suelo.
- Rociar el suelo con la dosis deseada.
- Mezclar el suelo.
- Compactar el suelo.
- Sellar una vez mas con una capa de polímero y,
- Dejar secar el suelo.

### **2.10.1. Composición de Polímeros**

**Resinas Parafinas:** Material estable e inerte, principalmente son hidrocarburos que, mediante procesos de refinado, eliminan cantidades de aceites de petróleo de su composición, por lo que, no se considera un producto cancerígeno.

Su objetivo en la mezcla con los polímeros, es ayudar a la adhesividad de las partículas de suelo, mayor plasticidad y flexibilidad.

Propiedades:            No se oxida  
                                   No es inflamable  
                                   No es toxico  
                                   No es radioactivo

**Emulsificantes:** Son componentes que permiten que dos o mas compuestos puedan actuar de manera conjunta, logrando estabilizarlos. En otros términos, se los denomina también emulsionantes ya que son capaces de unir un compuesto (grasa- agua).

### **Estabilizadores.**

### **2.10.2. Beneficios de Polímeros**

Los beneficios que deben cumplir los Polímeros para servir como estabilizadores son:

- Mejorar cohesión y resistencia de suelos
- Controlar de polvo
- No presentar agentes corrosivos o perjudiciales al medio ambiente.
- Una vez mezclado, no se vuelva a licuar con el agua.
- No sea necesario uso de protectores nasales para su manipulación, y no sea riesgoso para la salud de las personas.
- Reduzca los tiempos de construcción y permita reutilizar el suelo del sitio de la obra.

## **CAPITULO III. METODOLOGÍA.**

### **3.1. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.**

**H1.-** En arcillas, el uso de Polímeros en proporciones diferentes, mejora la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en pavimentos (CBR) y la resistencia a la compresión ( $q_u$ ).

**H2.-** En grava arcillosa, el uso de Polímeros en proporciones diferentes, mejora la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en pavimentos (CBR) y la resistencia a la compresión ( $q_u$ ).

**H3.-** El uso de Polímeros, reduce los costos de una vía, en relación a las técnicas de construcción actuales.

### **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

El tipo de investigación es cuantitativa ya que se analiza los porcentajes óptimos de productos para lograr valores de resistencia adecuados para obras viales.

### **3.3. NOVEDAD Y VIABILIDAD.**

En Ecuador no existe soluciones viales diferentes al asfalto o al cemento, por lo que, se tienen problemas de vialidad en zonas vecinales por los costos que implica una vía. El uso de polímeros es algo novedoso, que ayudaría a abaratar el precio de las mismas y permitiría tener vías de calidad en zonas apartadas.

La aplicación del producto, maquinarias y el producto en sí, no son de difícil obtención, por lo que, es totalmente viable la aplicación como

estabilizadores. También es importante mencionar que no poseen componentes que perjudiquen el medio ambiente.

### **3.4. POBLACIÓN O UNIVERSO.**

El universo que se tomará a considerar serán el suelo arcilla y grava arcillosa.

### **3.5. MUESTRA.**

- 120 kilogramos arcilla, obtenida de la Provincia de Los Ríos.
  - 2 muestras de Límites de Consistencia
  - 4 moldes para Proctor
  - 18 moldes para CBR
  - 4 moldes para ensayos Compresión Simple
  
- 120 kilogramos grava arcillosa. Obtenida de la Provincia del Guayas.
  - 2 muestras de Límites de Consistencia
  - 4 moldes para Proctor
  - 18 moldes para CBR
  - 4 moldes para ensayos Compresión Simple

### **3.6. INSTRUMENTOS, HERRAMIENTAS Y PROCEDIMIENTOS.**

#### **3.6.1. CONTENIDO DE HUMEDAD**

Para la obtención del contenido de humedad del suelo, se requiere:

- a.- Balanza
- b.- Espátula
- c.- Recipiente de Aluminio
- d.- Pinzas

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1.- Tomar el peso del recipiente vacío.
- 2.- Tomar una muestra de suelo con la espátula e introducirlo en frasco de aluminio.
- 3.- Pesarse el recipiente con la muestra de suelo.
- 4.- Introducir el frasco con la muestra al horno y dejar secar por 24 horas a 100 grados centígrados.
- 5.- Obtener el contenido de humedad aplicando la fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(wh - ws)}{(ws - wr)} \times 100.$$

*wh = peso recipiente mas suelo natural*

*ws = peso seco mas recipiente*

*wr = peso de recipiente*

### **3.6.2. LÍMITES DE ATTERBERG.**

Para la obtención se necesitan los siguientes materiales:

- a.- Balanza.
- b.- Recipiente de Aluminio.
- c.- Espátula.
- d.- Ranurador.
- c.- Copa de Casagrande
- d.- Horno

- e.- Placa lisa de vidrio
- d.- 100 gramos de Suelo pasante malla 40
- e.- Cápsula de Porcelana

Los Límites de Atterberg se dividen en tres procedimientos: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

### **3.6.2.1 Límite Líquido**

1.- Colocar la masa de suelo con el uso de una espátula dentro de la cápsula y agregar un poco de agua, mezclándola hasta tener un muestra homogénea y pastosa.

2.- Colocar un poco de la muestra en la copa de Casagrande, dejando una pasta de 1 cm de espesor en el centro de la copa, donde existe mayor profundidad.

3.- Con la ayuda del ranurador, dividir la masa de suelo en dos en el centro, el movimiento debe de ser constante y de arriba hacia abajo, evitando desplazar la muestra, si no mas bien, rebanarla.

4.- Luego de hacer la ranura, se procede a accionar la copa, contando el numero de golpes en el que la ranura se cierre y teniendo en cuenta que el rango de golpes debe de ser entre 10 y 35.

5.- Obtenido el numero de golpes, se toma una muestra de suelo, se la coloca en un recipiente de aluminio previamente pesado, y se pesa con la muestra de suelo obtenida.

6.- Se coloca al horno por 24 horas para obtener el contenido de humedad.

7.- Repetir el ensayo 3 veces como mínimo en los puntos del 2 al 6, con cantidades de agua mayores, para obtener una curva de fluidez precisa.

8.- Obtenido los valores de contenido de humedad y en numero de golpes, se obtiene una curva y la ecuación de dicha curva.

9.- Aplicar la fórmula de limite liquido:

$$L.L = \frac{(wh - ws)}{(ws)} \times 100.$$

*L.L= límite líquido %.*

*wh= peso húmedo en gr.*

*ws= peso seco en gr.*

### **3.6.2.2 Límite Plástico**

1.- Tomar muestra de suelo, generalmente se toma del suelo sobrante del ensayo de límite líquido, y rodillarla en una placa de vidrio, hasta obtener rollos de 3,13 mm de diámetro.

2.- De llegar a ese diámetro sin que los rollos se rompen, se repite el procedimiento, hasta obtener perdida de humedad al punto de fisurar los filamentos de suelo.

3.- Se pesa los rollos obtenidos, y se los mete al horno a secar por 24 horas.

4.- Se pesa en seco la muestra y se obtiene el contenido de humedad.

5.- Aplicar la formula:

$$L.P = \frac{(wh - ws)}{(ws)} \times 100.$$

*L.P= límite plástico %.*

*wh= peso húmedo en gr.*

*ws= peso seco en gr.*

### 3.6.2.3 Índice Plástico

1.- Se aplica la formula

$$IP= LL - LP$$

*L.P= límite plástico %.*

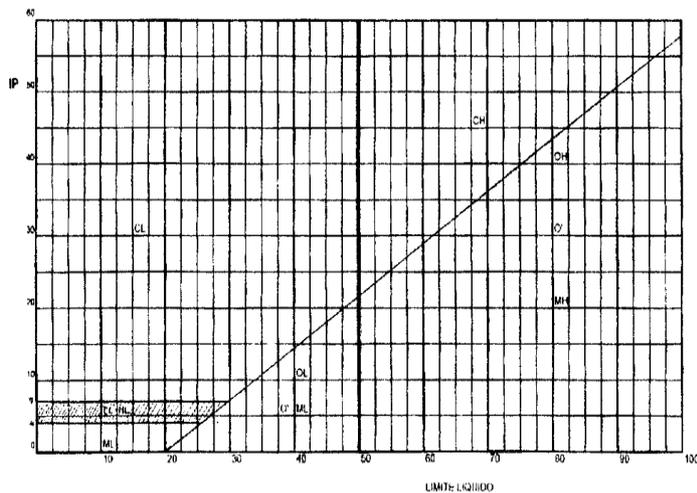
*L.L= límite líquido %.*

*I.P= índice plástico.*

Una vez obtenido los valores de índice plástico y el límite líquido, se observa la carta de plasticidad para determinar el tipo de suelo.

Gráfico 1.

Carta de Plasticidad



Nota: Tomada del libro C - Terreros . Mecánica de Suelos y Asfalto (pág. 58)

### 3.6.3. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.

Se requieren los siguientes materiales:

- a.- Martillo de compactación de 10 lb.
- b.- Molde de compactación (15 cm de diámetro, altura de 17,5 cm, collarín de 5 cm de altura, y una base perforada)
- c.- Recipientes de aluminio
- d.- Tacho de plástico
- e.- Espátula

f.- Balanza de 20 kg.

El procedimiento es el siguiente:

1.- Tomar una muestra de suelo de aproximadamente 5 kg pasante malla #4, en estado natural de humedad.

2.- Pesar el molde sin collarín, y tomar dimensiones para cálculo de volumen del cilindro.

3.- Colocar la muestra de suelo suficiente en el molde, teniendo en cuenta que se debe compactar en 5 capas con 56 golpes por capa.

4.- Compactadas las 5 capas, se retira el collarín, se enrasa y se pesa la muestra con el molde.

5.- Se pesa el recipiente de aluminio vacío, luego se toma una muestra de suelo, se la pesa y se mete a secar por 24 horas en horno para obtener contenido de humedad. Como se explica en el **3.6.1**.

6.- Se repite el procedimiento 1 al 5, como mínimo 3 veces mas, adicionando a las muestras de suelo una variación de humedad, en este caso 75 ml, 160 ml y 260 ml.

7.- Obtener la densidad seca máxima del suelo, con las siguientes formulas.

$$W = (wS - wR)$$

*W= Peso de Suelo Compactado*  
*wS= Peso de suelo + recipiente*  
*wR= Peso de recipiente.*

$$Y_s = \text{Peso volumétrico seco}$$

$$Y_s = \frac{W}{1 + \left(\frac{\% \text{ humedad}}{100}\right)} \quad W = \text{Peso de Suelo Compactado}$$

$$D_s = \frac{Y_s}{\text{vol.cilindro}} \quad D_s = \text{Densidad Seca.}$$

$$Y_s = \text{Peso volumétrico seco}$$

8.- Realizar una grafica relacionando el contenido de humedad con la densidad seca, trazar dos tangentes en la curva y bajo el punto de intersección obtenemos la Densidad Seca y el Contenido de Humedad Óptimo para una buena compactación.

### **3.6.4 SUELO - POLÍMERO.**

Los polímeros utilizados pertenecen al Global Soil Group, la selección no fue al azar, esta se justifica en primer lugar en que este proyecto no debe vender un producto, por lo que se eligió uno que no exista en el mercado ecuatoriano. Partiendo de lo anterior, se consideró que el producto no sea costoso y no afecte el ecosistema, además otro aspecto importante son las dos variantes del producto, los que se complementan para lograr una estabilidad completa.

#### **3.6.4.1 Polímero para Mejoramiento de Base (M)**

Polímero preparado químicamente para dar altos rendimientos a los suelos, logrando estabilizarlos, mejor control del polvo. Actúa penetrando en el suelo, uniendo las partículas y forman un cuerpo sólido como capa protectora en la superficie, incrementando la vida útil de la vía.

#### **3.6.4.2. Polímero para Longevidad en Superficie ( L)**

Polímero desarrollado para mayor resistencia al desgaste en la superficie de rodadura, ayudando a la preservación de la vía y evitando irregularidades en la calzada.

Esta desarrollado para aumentar la calidad y longevidad de suelos, actúa una vez mezclada con el agua, por medio de una unión catalítica natural mientras se realiza la compactación, creando una capa duradera y resistente a la permeabilidad del agua, este ayuda a evitar hundimientos, levantamiento de polvo y baches.

### **3.6.4.3. Relación Suelo Polímero.**

Los porcentajes manejados del producto en relación al suelo son los siguientes:

Valores dados por el fabricante del Polímero.

\*Polímero para mejoramiento (M) para base = 7,5 litros por metro cúbico de suelo suelto, sin compactar

\*Polímero para longevidad (L) para superficie = 1,6 litros por metro cúbico de suelo suelto, sin compactar

Teniendo en cuenta estos valores, se calcula el porcentaje de producto que recomienda el fabricante y los aplicados en laboratorio.

Por lo que;

- 7,5 litros = 0,0075 m<sup>3</sup>
- 1,6 litros = 0,0016 m<sup>3</sup>

Se realiza una regla de tres:

1m<sup>3</sup> ----- 100%

1m<sup>3</sup> -----100%

0,0075 m<sup>3</sup> -- X

0,0016 m<sup>3</sup> -- X

$$X = 100 * 0,0075 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

$$X = 100 * 0,0016 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^3$$

**X = 0,75 % de producto M**

**X = 0,16 % de producto L**

Para las pruebas de laboratorio se tomaron volúmenes diferentes de Polímero M y L, siendo "M": 12 ml, 20 ml, 30 ml, 50 ml y 70 ml y siendo "L": 3 ml . Estos valores se obtuvieron a partir del porcentaje recomendado del Polímero

❖ Volumen de suelo con el que se trabajo → 4000 cm<sup>3</sup>

➤ 1,75% →  $X = 1,75 \% * 4000 \text{ cm}^3 / 100 \% = \underline{\underline{70 \text{ cm}^3}}$

➤ 1,25 % →  $X = 1,25 \% * 4000 \text{ cm}^3 / 100 \% = \underline{\underline{50 \text{ cm}^3}}$

➤ 0,75% →  $X = 0,75 \% * 4000 \text{ cm}^3 / 100 \% = \underline{\underline{30 \text{ cm}^3}}$

➤ 0,50% →  $X = 0,50 \% * 4000 \text{ cm}^3 / 100 \% = \underline{\underline{20 \text{ cm}^3}}$

➤ 0,30% →  $X = 0,30 \% * 4000 \text{ cm}^3 / 100 \% = \underline{\underline{12 \text{ cm}^3}}$

➤ 0,17% (L) →  $X = 0,17 \% * 4000 \text{ cm}^3 / 100 \% = \underline{\underline{3 \text{ cm}^3}}$

Resumiendo:

| POLIMERO M    |                             |
|---------------|-----------------------------|
| % Recomendado | % Trabajados en Laboratorio |
|               | 0,30 %                      |
|               | 0,50 %                      |
| <b>0,75 %</b> | <b>0,75 %</b>               |
|               | 1,25 %                      |
|               | 1,75 %                      |

Una vez obtenido los porcentajes con los que se trabajaron, se procedió a seguir el procedimiento de CBR explicado en el 3.6.4 con la diferencia en que el porcentaje de humedad óptimo se debe de considerar la suma del porcentaje de producto. En total se realizaron 5 ensayos adicionales al ensayo del suelo en estado natural.

### 3.6.5. ENSAYO CBR.

Se requieren los siguientes materiales y equipos:

a.- Equipo CBR. (mismos materiales para ensayo de Proctor Modificado)

b.- Disco Espaciador de acero ( 15cm de diámetro y 6,35 de altura)

c.- Máquina de compresión, equipada con martillo de penetración, con una velocidad de 1.27 mm ó 0,5” por minuto de penetración.

d.- 2 Pesas de sobrecarga mínimo de 5 libras de 15 cm de diámetro cada una ( o las que sean necesarias según el diseño de pavimento), con orificio en el centro que permite el paso del pistón de la maquina de CBR.

Nota: En caso de que la máquina de CBR no sea automatizada con programas de computación, se necesitará del uso de un dial, para tomar lectura de penetración del pistón.

El procedimiento para obtener el valor CBR es el siguiente:

1.- Seleccionar el tipo de Procedimiento de CBR, considerando el tipo de suelo que vamos a utilizar.

este CL.

suelos

| SUELOS                                                        | CLASIFICACION                                                              | PROCEDIMIENTO                                                               | CBR  | HINCHAMIENTO               | DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IA. GRAVAS Y ARENAS                                           | SIN FINOS<br>GW<br>GP<br>SW<br>SP                                          | GENERAL                                                                     | ≥ 50 | NO                         | GENERAL:<br>1 Proctor Modificado<br>1 Hinchamiento<br>1 CBR                                                                                                                                                   |
|                                                               | CON ALGO DE FINOS<br>GW-GH<br>GP-GH<br>SW-SM<br>SP-SM                      | I                                                                           | ≥ 20 | Solo si p.m.a. > 1500 n.m. | PROCEDIMIENTO I:<br>1 Proctor Modificado<br>3 CBR: 56 golpes<br>25 "<br>12 "                                                                                                                                  |
| IB. SUELOS COHESIVOS, POCO PLASTICOS Y POCO O NADA EXPANSIVOS | GW-GC<br>GP-GC<br>SW-SC<br>SP-SC<br>GH<br>GC<br>SM<br>SC<br>CL<br>ML<br>OL | I<br>CLIMA NORMAL Y CAPACIDAD NO SE ALTERA CON PEQUEÑAS VARIACIONES DE w    | ≥ 10 | Solo si p.m.a. > 1500 n.m. | Se escoge el correspondiente al 95% de Densidad Seca Máxima.                                                                                                                                                  |
|                                                               | o combinaciones de ellos                                                   | II<br>CLIMA DESFAVORABLE Y SUELOS "SENSIBLES" A PEQUEÑOS CAMBIOS DE HUMEDAD | 7-50 | SI                         | PROCEDIMIENTO II:<br>3 Proctor: 56 golpes<br>25 "<br>12 "<br>9 Hinchamientos<br>9 CBR (mínimo)<br>En la línea del 95 % de D.S.Méx. se escoge el correspondiente a la humedad óptima ó a la máxima permisible. |
| IC. SUELOS COHESIVOS EXPANSIVOS                               | CH<br>MH<br>OH<br>Y algunos CL                                             | III                                                                         | ≤ 7  | SI                         | PROCEDIMIENTO III:<br>3 Proctor (15 puntos)<br>15 HINCHAMIENTOS<br>15 CBR<br>Se escoge el de menor hinchamiento.                                                                                              |

Para el caso de estudio, GC y

Tabla 3.  
CBR en remodelados.

Nota: Tomada del libro C - Terreros . Mecánica de Suelos y Asfalto (pág. 153)

2.-

Coger una muestra de suelo seca, pasante la malla  $\frac{3}{4}$  de 5 kilos de peso aproximados.

3.- Colocar el contenido de humedad óptima, obtenido en el ensayo Proctor Modificado.

4.- Realizar el mismo procedimiento de Proctor Modificado, esta vez, colocando abajo un disco espaciador de 6,35 cm de altura en la base del cilindro.

5.- Una vez compactado el suelo con 56 golpes y 5 capas, se quita el collarín, y se enrasa.

6.- Se voltea el molde, dejando la parte enrasada como base, se quita el disco espaciador, dejando vacío la parte superior del cilindro.

7.- Se obtiene el peso del cilindro más el suelo compactado, sin collarín y sin disco espaciador.

8.- Se dejan los cilindros en un lugar no húmedo ni expuesto al sol por 24 horas para que el producto se adhiera a las partículas del suelo.

9.- En el espacio vacío dejado por el disco espaciador, se colocan 2 pesas de 5 kilos como mínimo que asemejan al espesor y peso de la capa asfáltica.

10.- Se coloca el cilindro en la maquina CBR, pasando el pistón por el centro de las pesas y en contacto directo con el suelo.

11.- Se activa la máquina de penetración a una velocidad de 1,27mm por minuto.

12.- Se obtiene la grafica de CBR que combina la penetración en pulgadas, y la carga de penetración en libras. Se divide ese valor para el área del pistón 19,35 cm<sup>2</sup> para obtener la Carga Unitaria.

13.- Se toma el valor correspondiente y se divide para 1000 lb/pulg<sup>2</sup> ó 70 kg/cm<sup>2</sup> para 0,1 pulg. de penetración ó 1500 lb/pulg<sup>2</sup> ó 105 kg/cm<sup>2</sup> para 0,2 pulg. de penetración.

14.- Se repite el procedimiento para el ensayo de 25 y 12 golpes.

15.- Una vez obtenido los valores de CBR, se traza otra grafica que relaciona los valores de CBR con las densidades secas máximas de los moldes.

16.- Se relaciona curva de CBR con la densidad seca máxima, se selecciona el 95% de densidad seca máxima y se obtiene el valor de CBR real.

### **3.6.6. ENSAYO COMPRESION SIN CONFINAMIENTO.**

Se requieren los siguientes materiales:

a.- Balanza

- b.- Moldeador
- c.- Agua
- d.- Polímero
- e.- Prensa triaxial.
- f.- Diales
- g.- Cronómetros

El procedimiento para el cálculo de compresión simple es el siguiente:

1.- Como se tratan de muestras alteradas, se debe de usar un molde para darle forma a la muestra, para eso se requiere agregar agua a la masa de suelo para lograr darle forma de cilindro.

2.- Se pesa la muestra para obtener la masa de la misma.

3.- Se coloca la muestra en la prensa, y se comienza a aplicar carga a una velocidad de deformación unitaria de entre  $\frac{1}{2}$  % y 2 % por minuto.

4.- Con el uso de diales, se toma lectura de la carga y la deformación respectiva.

5.- Una vez la curva de deformación comience a decaer se debe de dar terminado el ensayo.

6.- Se observa el tipo de rotura de la muestra.

7.- Con la carga obtenida del dial, por 1362 kg valor estándar para DIAL LC-2

8.- Calcular la deformación Vertical

$$E = \frac{*h(\text{deformacion})}{h(\text{inicial})}$$

9.- E corregido.

“ 1-E ”

10.- Corregir el Área

$$\text{Área Corregida} = \frac{\text{Area muestra}}{(1-E)}$$

11.- Calcular el esfuerzo de Compresión

$$\text{Esf. Comp.} = \frac{\text{Carga}}{\text{Area Corregida}}$$

## CAPITULO IV. ENSAYOS Y RESULTADOS.

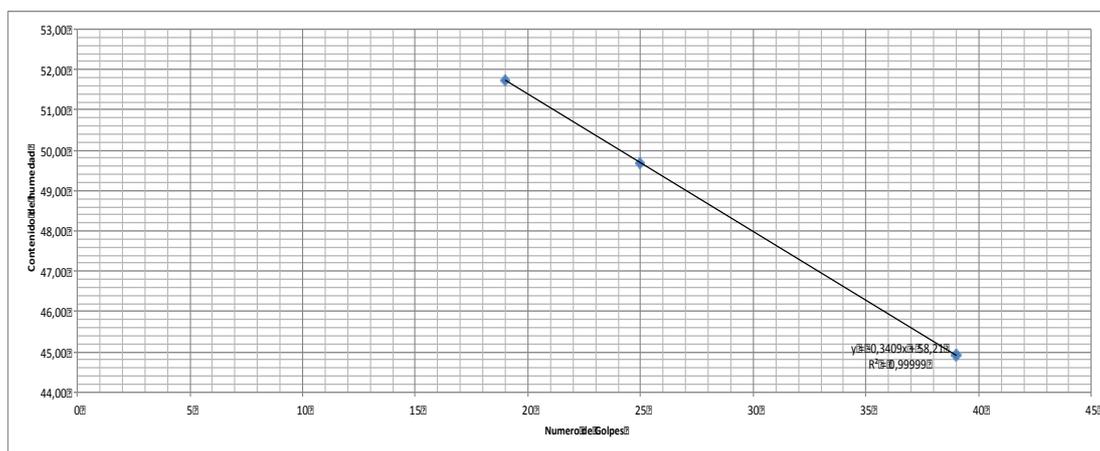
### 4.1. GRANULOMETRÍA GRAVA ARCILLOSA

Peso de la muestra 1000 gr.

| Tamiz | Diámetro (mm) | Peso parcial | porcentaje retenido | porcentaje acumulado | Porcentaje que pasa |
|-------|---------------|--------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 3/8   | 19,00         | 10           | 1%                  | 1%                   | 99%                 |
| N4    | 4,75          | 590          | 59%                 | 60%                  | 40%                 |
| N10   | 2,00          | 50           | 5%                  | 65%                  | 35%                 |
| n40   | 0,425         | 30           | 3%                  | 68%                  | 32%                 |
| n200  | 0,075         | 120          | 12%                 | 80%                  | 20%                 |
| Fondo | ----          | 200          | 20%                 | 100%                 | 0%                  |
|       |               | 1000         | 100%                |                      |                     |

Límite Líquido

| Tipo    | A2    | E3    | C1    |
|---------|-------|-------|-------|
| WH-R    | 24,45 | 22,35 | 26,30 |
| WS+R    | 20,25 | 18,50 | 21,10 |
| WW      | 4,20  | 3,85  | 5,20  |
| R       | 10,90 | 10,75 | 11,05 |
| WS      | 9,35  | 7,75  | 10,05 |
| %W      | 44,92 | 49,68 | 51,74 |
| #Golpes | 39    | 25    | 19    |



Límite Plástico

| RECIPIENTE | A4    | R3    | B2    |
|------------|-------|-------|-------|
| WH-R       | 12,55 | 12,45 | 12,35 |
| WS+R       | 12,33 | 12,20 | 12,15 |
| WW         | 0,22  | 0,25  | 0,20  |
| R          | 11,10 | 11,05 | 11,10 |
| WS         | 1,23  | 1,15  | 1,05  |
| %W         | 17,89 | 21,74 | 19,05 |

$$y = 0,3409(x - 37) + 58,21$$

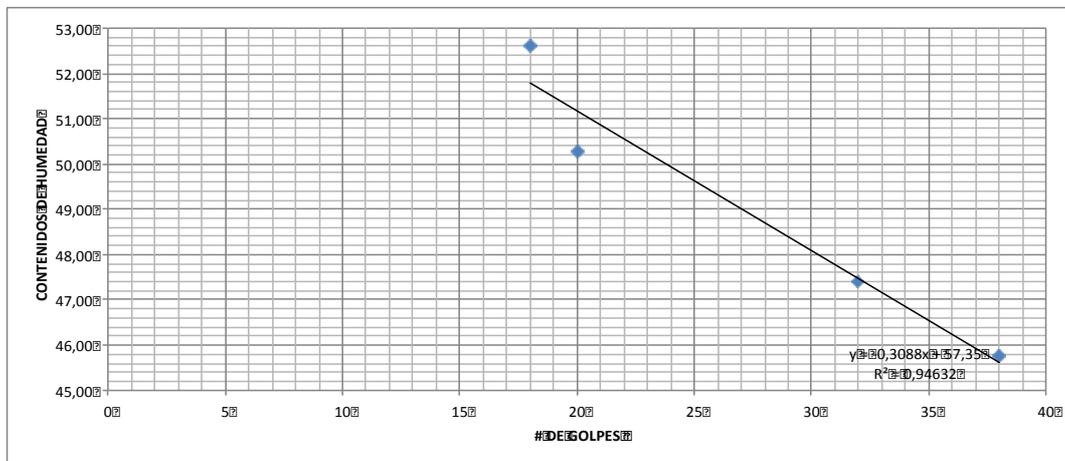
|    |    |
|----|----|
| WL | 46 |
| WP | 20 |
| IP | 26 |

|               |
|---------------|
| ASTHO D 153   |
| (A 2237) (GC) |

\* Según AASTHO: 35 % Máximo malla 200; WL= 41 mín; IP= 11 mín. es un Suelo (A-2-7) ó según SUCS (GC).

#### 4.2. LIMITES DE CONSISTENCIA ARCILLA

| Límite Líquido |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| RECIPIENTE     | A6    | B1    | A7    | M1    |
| WH+R           | 23,65 | 32,75 | 33,1  | 24,3  |
| WS+R           | 19,55 | 25,2  | 26,1  | 19,85 |
| WW             | 4,1   | 7,55  | 7     | 4,45  |
| R              | 10,9  | 10,85 | 10,8  | 11    |
| WS             | 8,65  | 14,35 | 15,3  | 8,85  |
| %W             | 47,40 | 52,61 | 45,75 | 50,28 |
| #GOLPES        | 32    | 18    | 38    | 20    |



| Límite Plástico |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|
| MUESTRA         | 1     | 2     | 3     |
| WH+R            | 12,05 | 11,8  | 12,3  |
| WS+R            | 11,85 | 11,65 | 12,1  |
| WW              | 0,2   | 0,15  | 0,2   |
| R               | 10,95 | 10,85 | 11,05 |
| WS              | 0,90  | 0,80  | 1,05  |
| %W              | 22,22 | 18,75 | 19,05 |

$$y = -0,3088x + 57,358$$

|    |    |
|----|----|
| WL | 47 |
| WP | 20 |
| IP | 27 |

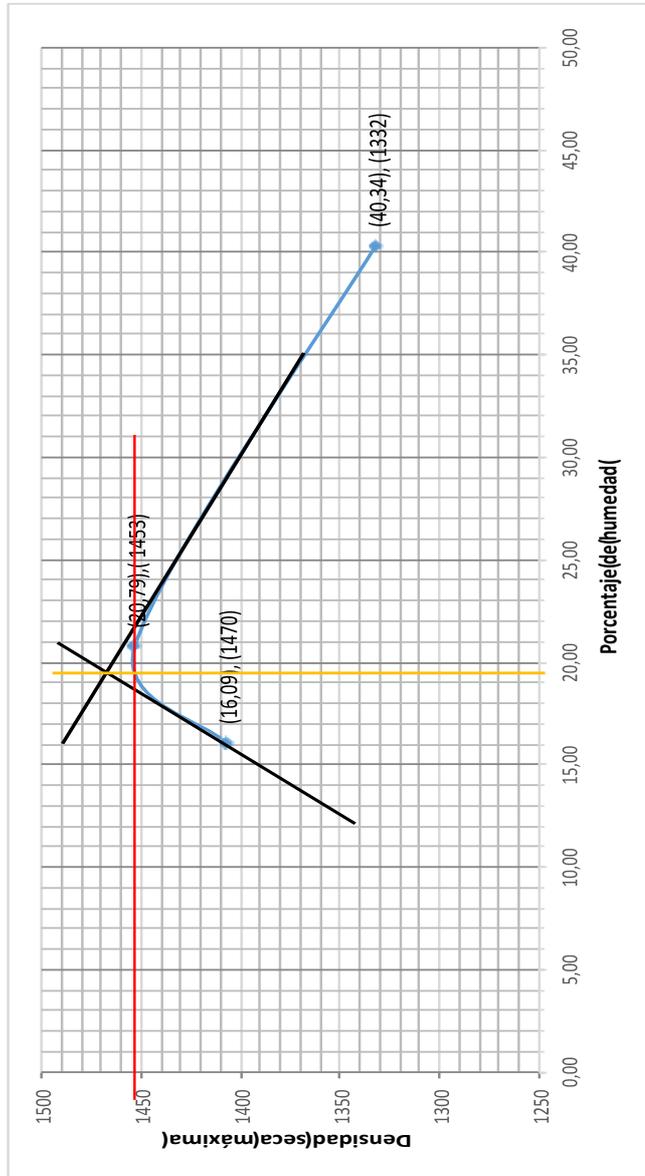
|             |
|-------------|
| AASHTO SUCS |
| (A-7) (CL)  |

\* Según AASTHO: WL= 41 mín; IP= 11 mín. es un Suelo (A-7) ó según carta de plasticidad de SUCS (CL).

### 4.3. PROCTOR MODIFICADO.

#### 4.3.1 ARCILLA (A-7) AASHTO - (CL) SUCS

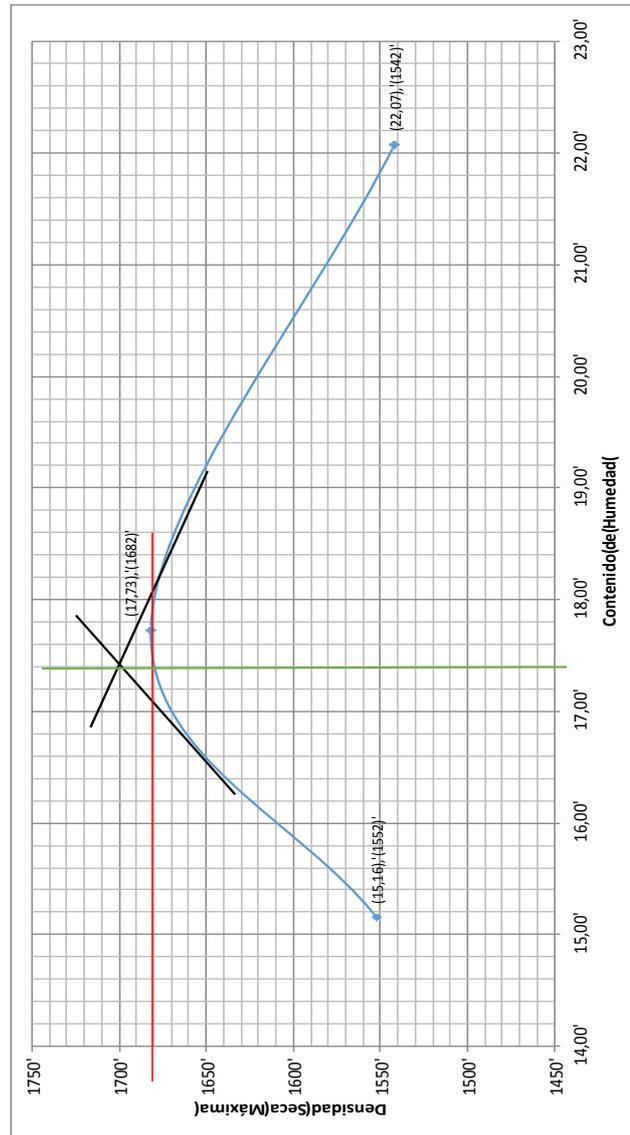
| PRUEBA PROCTOR SUELO ARCILLOSO |          | Vol.cil. | 0,00327 m3 |       | Peso cil |       | 6,7 Kg. |         |       |           | k/m3 |            |
|--------------------------------|----------|----------|------------|-------|----------|-------|---------|---------|-------|-----------|------|------------|
| AGUA (cm3)                     | # RECIP. | Wh+r     | Ws+r       | r     | Ww       | Ws    | w %     | W +cil. | W     | 1 + w/100 | Ys   | Dens. seca |
| EN                             | PT       | 15,90    | 15,20      | 10,85 | 0,70     | 4,35  | 16,09   | 12,04   | 5,34  | 1,16      | 4,60 | 1407       |
| 75                             | 15       | 16,95    | 15,90      | 10,85 | 1,05     | 5,05  | 20,79   | 12,44   | 5,74  | 1,21      | 4,75 | 1453       |
| 160                            | 14       | 27,75    | 22,95      | 11,05 | 4,80     | 11,90 | 40,34   | 12,81   | 6,112 | 1,40      | 4,36 | 1332       |
| 260                            | MK       | 25,80    | 21,00      | 11,00 | 4,80     | 10,00 | 48,00   | 12,84   | 6,135 | 1,48      | 4,15 | 1268       |



Contenido de Humedad Óptima = 19,4%  
 Densidad Seca Máxima= 1453 kg/m3.

#### 4.3.2 GRAVA ARCILLOSA (A-2-7) AASHTO - (GC) SUCS

| PRUEBA PROCTOR GRAVA ARCILLOSA |          | Vol.cil.          | 0,0033 m <sup>3</sup> |       | Peso cil       |                | 6,7 Kg. |         | k/m <sup>3</sup> |           |                |            |
|--------------------------------|----------|-------------------|-----------------------|-------|----------------|----------------|---------|---------|------------------|-----------|----------------|------------|
| AGUA,cm <sup>3</sup>           | #RECIPI. | W <sub>h</sub> +r | W <sub>s</sub> +r     | r     | W <sub>w</sub> | W <sub>s</sub> | w %     | W +cil. | W                | 1 + w/100 | Y <sub>s</sub> | Dens. seca |
| EN                             | PT       | 66,9              | 62                    | 14,7  | 4,9            | 47,3           | 10,4    | 11,9    | 5,2              | 1,1       | 4,7            | 1432,6     |
| 75                             | 15       | 55                | 49,7                  | 14,75 | 5,3            | 35,0           | 15,2    | 12,7    | 6,0              | 1,2       | 5,2            | 1581,3     |
| 160                            | 14       | 62,5              | 55,3                  | 14,7  | 7,2            | 40,6           | 17,7    | 13,2    | 6,5              | 1,2       | 5,5            | 1681,9     |
| 260                            | MK       | 55,95             | 48,5                  | 14,75 | 7,5            | 33,8           | 22,1    | 12,9    | 6,2              | 1,2       | 5,0            | 1541,9     |



**Contenido de Humedad Óptima = 17,4%**  
**Densidad Seca Máxima= 1682 kg/m<sup>3</sup>.**

#### 4.4. ENSAYOS CBR.

##### 4.4.1 SUELO ARCILLOSO (A-7) AASHTO - (CL) SUCS

##### A.- ENSAYO EN ESTADO NATURAL

**California Bearing Ratio of Laboratory  
Compacted Soils (CBR)**  
" CBR ESTADO NATURAL ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

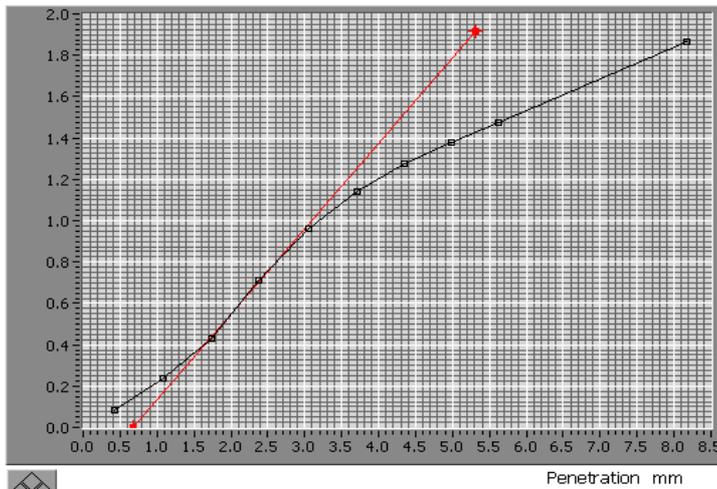
| Test Details              |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98     |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)       |
| <b>Sample Description</b> | CBR EN ESTADO NATURAL ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1322.43 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 2.83 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9.53 kg |                      |               |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

**Penetration Stage**

Stress MPa



|                 |                                      |                                       |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Penetration     | <input type="text" value="2.54"/> mm | <input type="text" value="5.08"/> mm  |
| Stress          | <input type="text" value="1.0"/> MPa | <input type="text" value="1.5"/> MPa  |
| Standard Stress | <input type="text" value="6.9"/> MPa | <input type="text" value="10.3"/> MPa |
| <b>CBR</b>      | <input type="text" value="14.6"/> %  | <input type="text" value="14.5"/> %   |



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

**California Bearing Ratio of Laboratory  
Compacted Soils (CBR)**  
"CBR ESTADO NATURAL ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

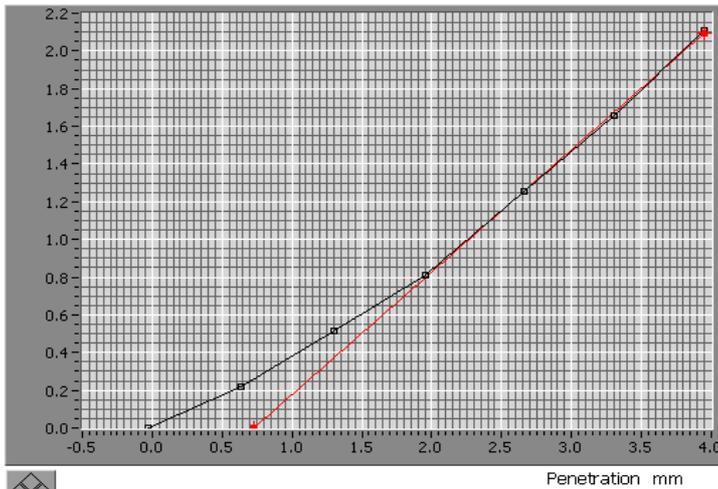
| Test Details              |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98     |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)       |
| <b>Sample Description</b> | CBR EN ESTADO NATURAL ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1443.95 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.09 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9.79 kg |                      |               |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

**Penetration Stage**

Stress MPa



|                 |                                      |                                       |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Penetration     | <input type="text" value="2.54"/> mm | <input type="text" value="5.08"/> mm  |
| Stress          | <input type="text" value="1.6"/> MPa | <input type="text" value="2.1"/> MPa  |
| Standard Stress | <input type="text" value="6.9"/> MPa | <input type="text" value="10.3"/> MPa |
| <b>CBR</b>      | <input type="text" value="23.7"/> %  | <input type="text" value="20.4"/> %   |

|            |                    |
|------------|--------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano |
|            | Manuel Casanova    |

**California Bearing Ratio of Laboratory  
Compacted Soils (CBR)**  
" CBR ESTADO NATURAL ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

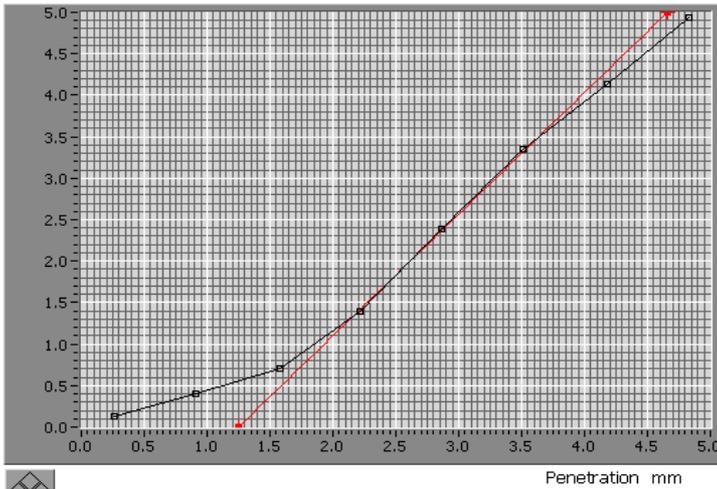
| Test Details              |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98     |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)       |
| <b>Sample Description</b> | CBR EN ESTADO NATURAL ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |              |
|------------------------------|---------|----------------------|--------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3   |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3   |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1518.7 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.25 kg |                      |              |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |              |
| <b>Total Weight</b>          | 9.95 kg |                      |              |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

**Penetration Stage**

Stress MPa

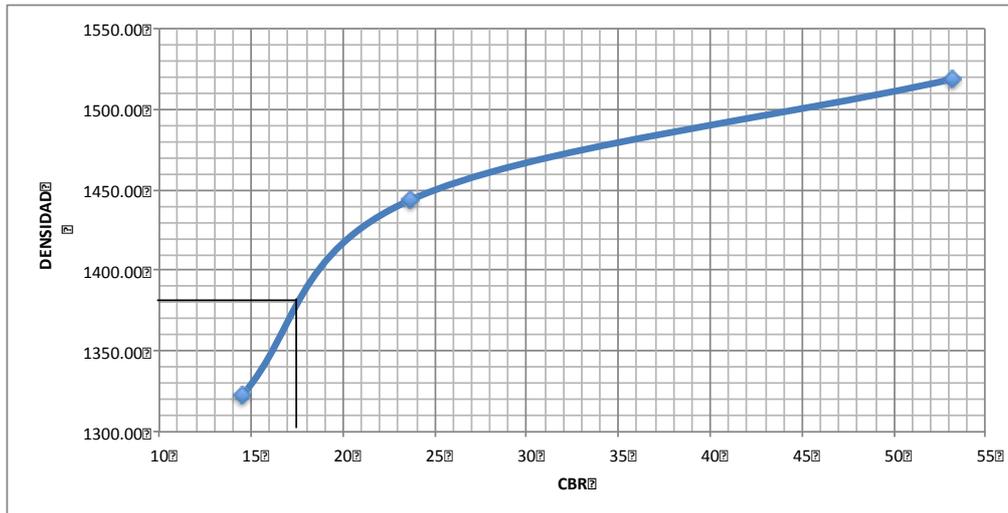


|                 |               |               |
|-----------------|---------------|---------------|
| Penetration     | 2.54 mm       | 5.08 mm       |
| Stress          | 3.7 MPa       | 4.9 MPa       |
| Standard Stress | 5.9 MPa       | 10.3 MPa      |
| <b>CBR</b>      | <b>53.2 %</b> | <b>47.9 %</b> |



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo estado natural = 17,4%**

**B.- ENSAYO CON POLÍMERO 12 ml (0,30%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 12 ML (0.3%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                         |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 12 ML (0.3%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |              |
|------------------------------|----------|----------------------|--------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | <b>A</b> | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3   |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3   |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1289,72Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 2,76 kg  |                      |              |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |              |
| <b>Total Weight</b>          | 9,46 kg  |                      |              |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 12 GOLPES                |                |
|-------------|--------|--------------------------|----------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA                    | CARGA UNITARIA |
|             |        | Carga / Piston(19.35 cm) |                |
| 1,27        | 0,050  | 55                       | 2,80           |
| 2,54        | 0,100  | 120                      | 6,11           |
| 3,81        | 0,050  | 215                      | 10,95          |
| 5,08        | 0,200  | 320                      | 16,30          |
| 7,62        | 0,300  | 450                      | 22,92          |
| 10,16       | 0,400  | 530                      | 26,99          |
| 12,70       | 0,500  | 665                      | 33,87          |

**Valor de carga Unitaria**

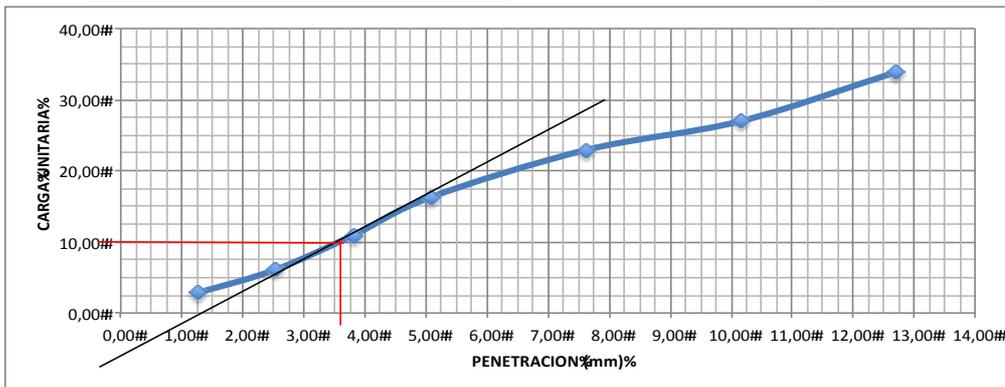
**10**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\*100**

**CBR= 14,29**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR + 12 ML (0.3%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                         |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 12 ML (0.3%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1425,23 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3,05 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9,75 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 25 GOLPES |                          |
|-------------|--------|-----------|--------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA           |
|             |        |           | Carga / Piston(19.35 cm) |
| 1,27        | 0,050  | 69        | 3,50                     |
| 2,54        | 0,100  | 194       | 9,87                     |
| 3,81        | 0,050  | 319       | 16,23                    |
| 5,08        | 0,200  | 438       | 22,28                    |
| 7,62        | 0,300  | 613       | 31,19                    |
| 10,16       | 0,400  | 675       | 34,38                    |
| 12,70       | 0,500  | 730       | 37,18                    |

**Valor de carga Unitaria**

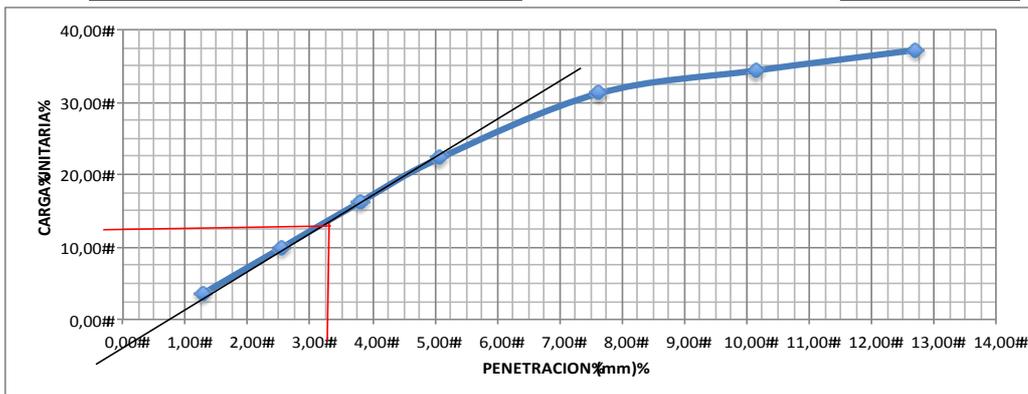
**12,5**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\*100**

**CBR= 17,86**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 12 ML (0.3%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                         |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 12 ML (0.3%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |                           |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | <b>A</b> | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m <sup>3</sup>    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1532,71 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3,28 kg  |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 9,98 kg  |                      |                           |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

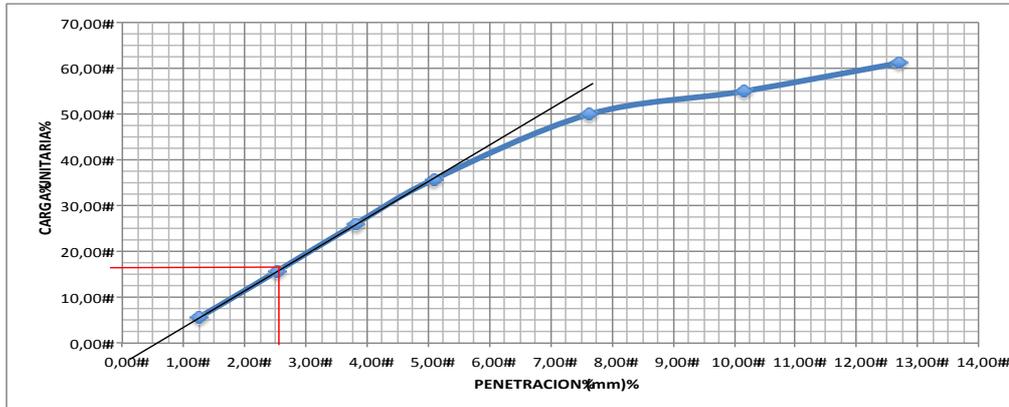
| PENETRACION |        | 56 GOLPES                |                |
|-------------|--------|--------------------------|----------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA                    | CARGA UNITARIA |
|             |        | Carga / Piston(19.35 cm) |                |
| 1,27        | 0,050  | 110                      | 5,60           |
| 2,54        | 0,100  | 310                      | 15,79          |
| 3,81        | 0,050  | 510                      | 25,97          |
| 5,08        | 0,200  | 700                      | 35,65          |
| 7,62        | 0,300  | 980                      | 49,91          |
| 10,16       | 0,400  | 1080                     | 55,00          |
| 12,70       | 0,500  | 1200                     | 61,12          |

**Valor de carga Unitaria corregida**  
**16,75**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

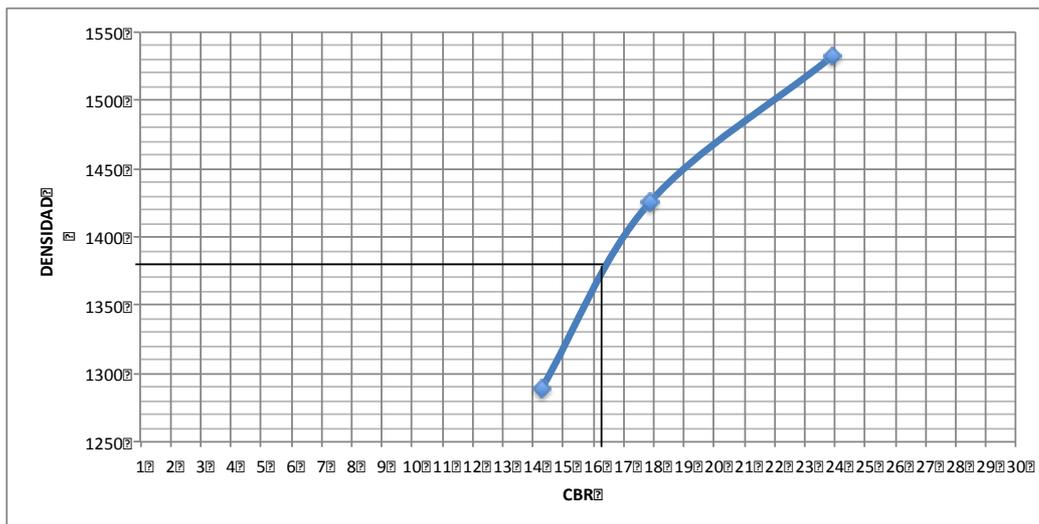
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 23,93**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (0,30%). de POLÍMERO = 16,15%**

**C.- ENSAYO CON POLÍMERO 20 ml (0,5%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 20 ML (0.5%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                         |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 20 ML (0.5%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |                           |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | <b>A</b> | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m <sup>3</sup>    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1378,50 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 2,95 kg  |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 9,65 kg  |                      |                           |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

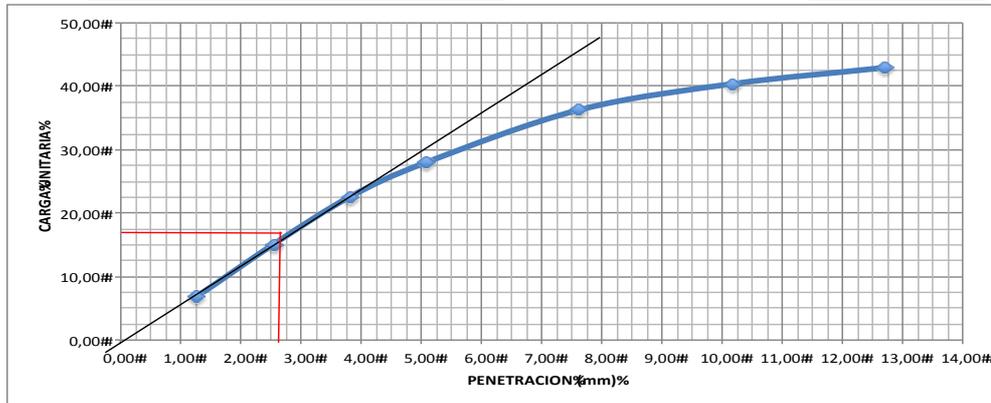
| PENETRACION |        | 12 GOLPES |                                                          |
|-------------|--------|-----------|----------------------------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA<br>Carga / Piston(19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 134       | 6,84                                                     |
| 2,54        | 0,100  | 297       | 15,11                                                    |
| 3,81        | 0,050  | 443       | 22,58                                                    |
| 5,08        | 0,200  | 550       | 28,02                                                    |
| 7,62        | 0,300  | 712       | 36,28                                                    |
| 10,16       | 0,400  | 793       | 40,37                                                    |
| 12,70       | 0,500  | 843       | 42,93                                                    |

**Valor de carga Unitaria**  
**16,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>) \* 100**

**CBR= 23,57**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 20 ML (0.5%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                         |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 20 ML (0.5%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1439,25 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3,08 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9,78 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 25 GOLPES      |                                        |
|-------------|--------|----------------|----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA UNITARIA |                                        |
|             |        | CARGA          | Carga / Piston(19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 276            | 14,07                                  |
| 2,54        | 0,100  | 610            | 31,07                                  |
| 3,81        | 0,050  | 912            | 46,44                                  |
| 5,08        | 0,200  | 1131           | 57,62                                  |
| 7,62        | 0,300  | 1465           | 74,62                                  |
| 10,16       | 0,400  | 1630           | 83,04                                  |
| 12,70       | 0,500  | 1734           | 88,29                                  |

**Valor de carga Unitaria**

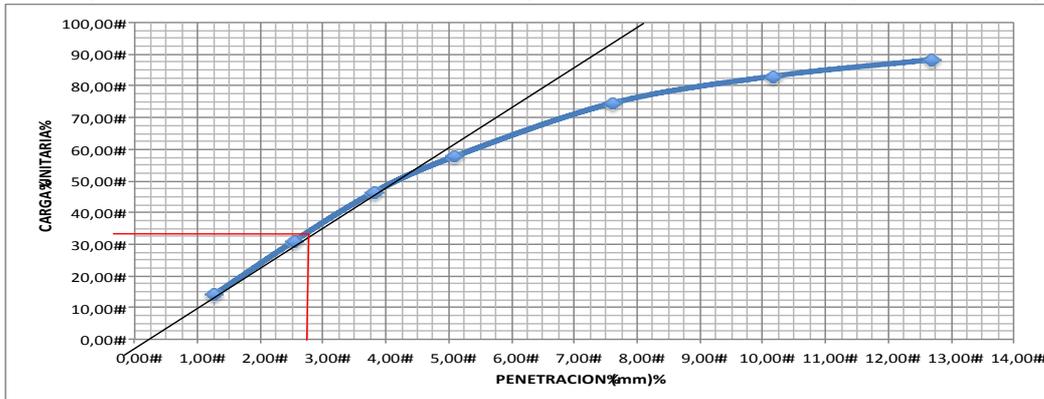
**33**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm<sup>2</sup>**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 47,14**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 20 ML (0.5%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                         |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 20 ML (0.5%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1616,82 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3,46 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10,16 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 56 GOLPES |                                        |
|-------------|--------|-----------|----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                         |
|             |        |           | Carga / Piston(19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 530       | 26,99                                  |
| 2,54        | 0,100  | 1170      | 59,59                                  |
| 3,81        | 0,050  | 1749      | 89,08                                  |
| 5,08        | 0,200  | 2170      | 110,52                                 |
| 7,62        | 0,300  | 2810      | 143,11                                 |
| 10,16       | 0,400  | 3127      | 159,26                                 |
| 12,70       | 0,500  | 3325      | 169,34                                 |

**Valor de carga Unitaria**

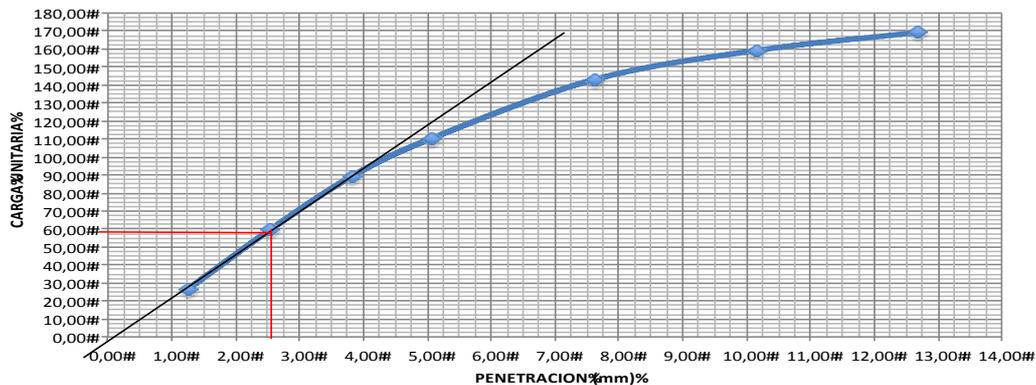
**58**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm2**

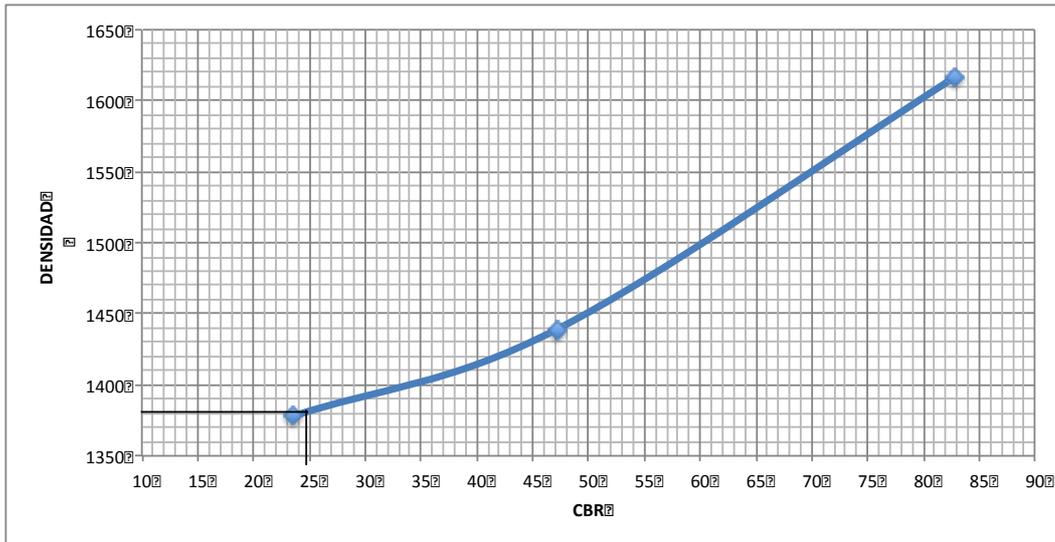
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2) \* 100**

**CBR= 82,86**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (0,5%) de POLÍMERO = 24,9%**

**D.- ENSAYO CON POLÍMERO 30 ml (0,75%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR + 30 ML (0.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 30 ML (0.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1292,99 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 2,76 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9,46 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 12 GOLPES      |                          |
|-------------|--------|----------------|--------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA UNITARIA |                          |
|             |        | CARGA          | Carga / Piston(19.35 cm) |
| 1,27        | 0,050  | 124            | 6,33                     |
| 2,54        | 0,100  | 271            | 13,81                    |
| 3,81        | 0,050  | 416            | 21,17                    |
| 5,08        | 0,200  | 522            | 26,60                    |
| 7,62        | 0,300  | 631            | 32,15                    |
| 10,16       | 0,400  | 710            | 36,15                    |
| 12,70       | 0,500  | 786            | 40,03                    |

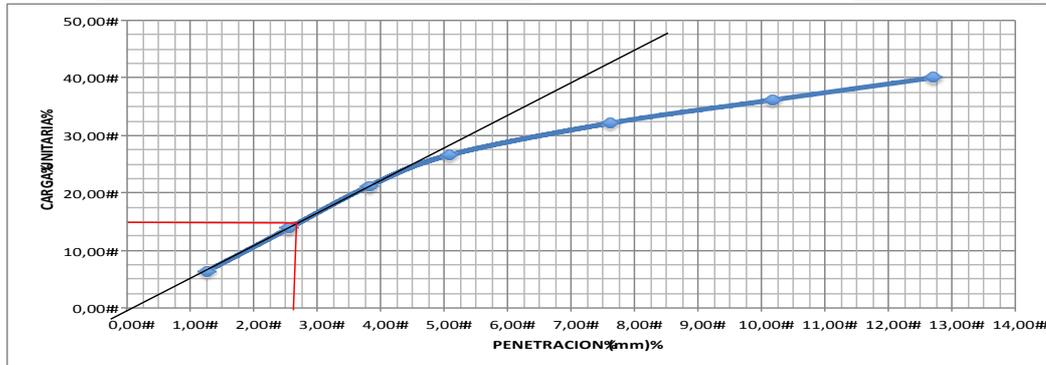
**Valor de carga Unitaria**

**15**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\*100**

**CBR= 21,43**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 30 ML (0.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 30 ML (0.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1429,91 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3,06 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6,7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9,76 kg |                      |               |

**ENSAYO CARGA - PENETRACION**

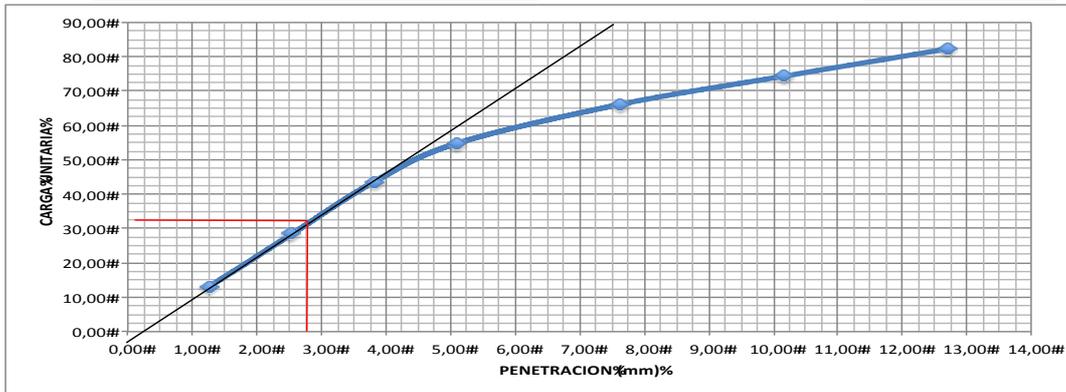
| PENETRACION |        | 25 GOLPES                               |                |
|-------------|--------|-----------------------------------------|----------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA                                   | CARGA UNITARIA |
|             |        | Carga / Piston (19.35 cm <sup>2</sup> ) |                |
| 1,27        | 0,050  | 255                                     | 13,01          |
| 2,54        | 0,100  | 558                                     | 28,41          |
| 3,81        | 0,050  | 855                                     | 43,55          |
| 5,08        | 0,200  | 1074                                    | 54,70          |
| 7,62        | 0,300  | 1298                                    | 66,12          |
| 10,16       | 0,400  | 1460                                    | 74,35          |
| 12,70       | 0,500  | 1616                                    | 82,30          |

**Valor de carga Unitaria**  
**32,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 46,43**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR + 30 ML (0.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 30 ML (0.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |                        |
|------------------------------|---------|----------------------|------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup> |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1500 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3,21 kg |                      |                        |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |                        |
| <b>Total Weight</b>          | 9,91 kg |                      |                        |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 56 GOLPES                               |                |
|-------------|--------|-----------------------------------------|----------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA                                   | CARGA UNITARIA |
|             |        | Carga / Piston (19.35 cm <sup>2</sup> ) |                |
| 1,27        | 0,050  | 490                                     | 24,96          |
| 2,54        | 0,100  | 1070                                    | 54,49          |
| 3,81        | 0,050  | 1640                                    | 83,52          |
| 5,08        | 0,200  | 2060                                    | 104,91         |
| 7,62        | 0,300  | 2490                                    | 126,81         |
| 10,16       | 0,400  | 2800                                    | 142,60         |
| 12,70       | 0,500  | 3050                                    | 155,34         |

**Valor de carga Unitaria**

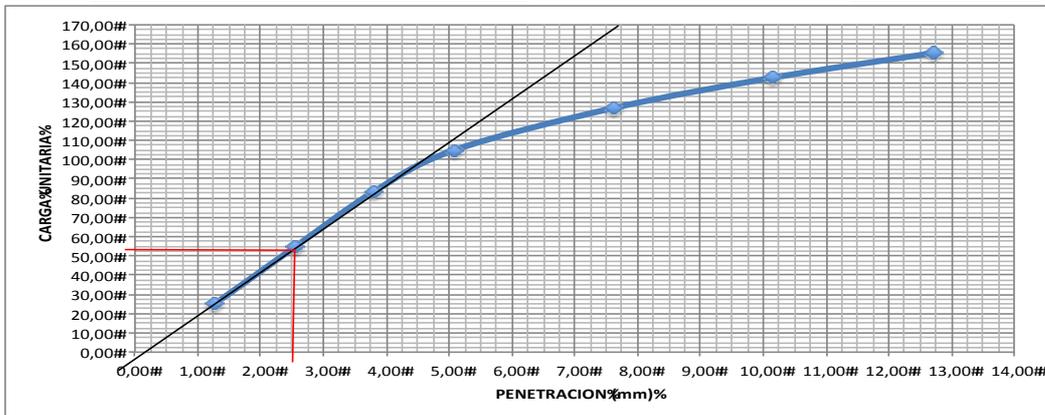
**53,5**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm<sup>2</sup>**

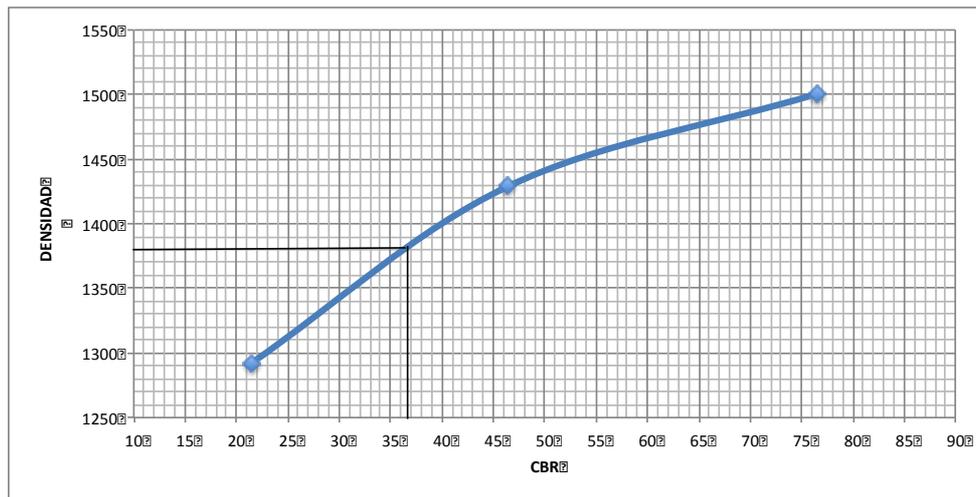
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 76,43**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (0,75%) de POLÍMERO = 36,5%**

**E.- ENSAYO CON POLÍMERO 50 ml (1,25%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 50 ML (1.25%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 50 ML (1.25%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |            |
|------------------------------|---------|----------------------|------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3 |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1300 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 2,78 kg |                      |            |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |            |
| <b>Total Weight</b>          | 9,48 kg |                      |            |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

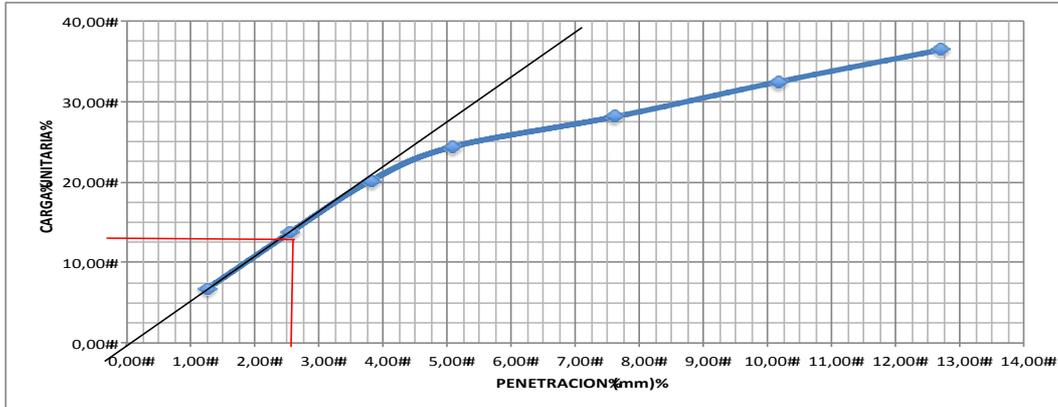
| PENETRACION |        | 12 GOLPES                |                |
|-------------|--------|--------------------------|----------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA                    | CARGA UNITARIA |
|             |        | Carga / Piston(19.35 cm) |                |
| 1,27        | 0,050  | 133                      | 6,78           |
| 2,54        | 0,100  | 269                      | 13,70          |
| 3,81        | 0,050  | 396                      | 20,19          |
| 5,08        | 0,200  | 478                      | 24,37          |
| 7,62        | 0,300  | 552                      | 28,12          |
| 10,16       | 0,400  | 637                      | 32,44          |
| 12,70       | 0,500  | 715                      | 36,41          |

**Valor de carga Unitaria**  
**12,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\*100**

**CBR= 17,86**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR + 50 ML (1.25%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 50 ML (1.25%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |                           |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | <b>A</b> | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m <sup>3</sup>    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1392,52 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 2.98 kg  |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 9.68 kg  |                      |                           |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

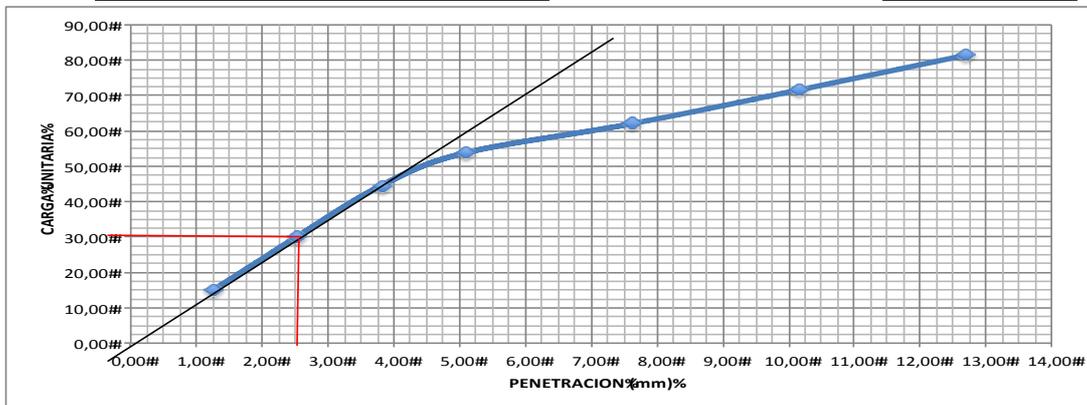
| PENETRACION |        | 25 GOLPES |                                        |
|-------------|--------|-----------|----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                         |
|             |        |           | Carga / Piston(19,35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 294       | 14,96                                  |
| 2,54        | 0,100  | 594       | 30,24                                  |
| 3,81        | 0,050  | 875       | 44,56                                  |
| 5,08        | 0,200  | 1056      | 53,79                                  |
| 7,62        | 0,300  | 1219      | 62,07                                  |
| 10,16       | 0,400  | 1406      | 71,62                                  |
| 12,70       | 0,500  | 1600      | 81,49                                  |

**Valor de carga Unitaria**  
**30**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>) \* 100**

**CBR= 42,86**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 50 ML (1.25%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 50 ML (1.25%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1476.64 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.16 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9.86 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

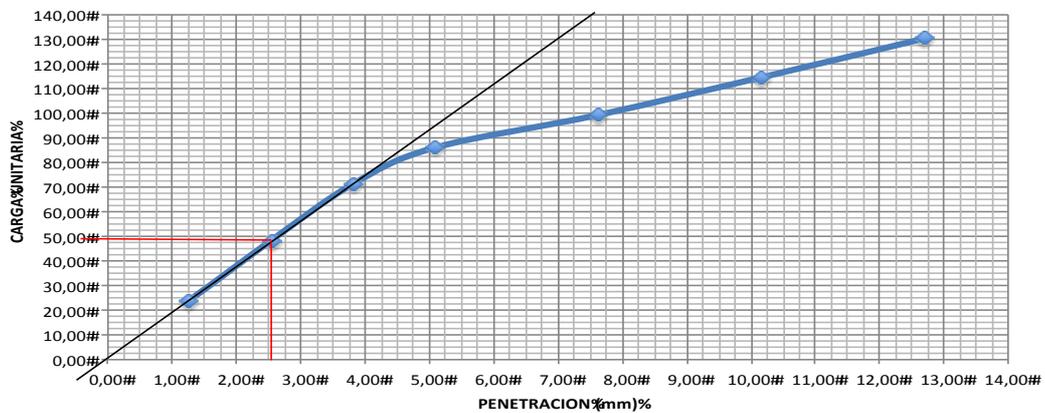
| PENETRACION |        | 56 GOLPES |                                        |
|-------------|--------|-----------|----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                         |
|             |        |           | Carga / Piston(19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 470       | 23,94                                  |
| 2,54        | 0,100  | 950       | 48,38                                  |
| 3,81        | 0,050  | 1400      | 71,30                                  |
| 5,08        | 0,200  | 1690      | 86,07                                  |
| 7,62        | 0,300  | 1950      | 99,31                                  |
| 10,16       | 0,400  | 2250      | 114,59                                 |
| 12,70       | 0,500  | 2560      | 130,38                                 |

**Valor de carga Unitaria**  
**49,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

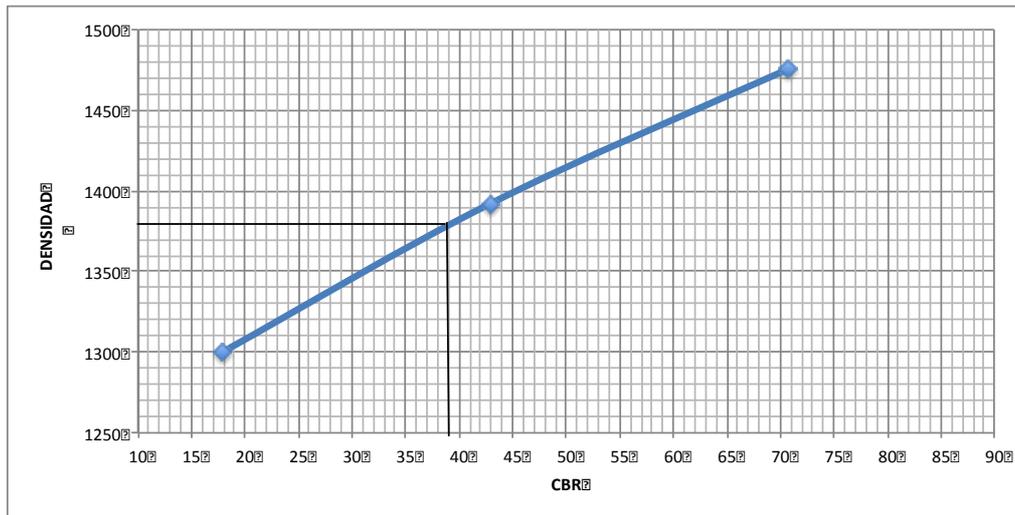
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\* 100**

**CBR= 70,71**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (1,25%) de POLÍMERO = 39%**

**F.- ENSAYO CON POLÍMERO 70 ml (1,75%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 70 ML (1.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 70 ML (1.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1322.43 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 2.83 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9.53 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

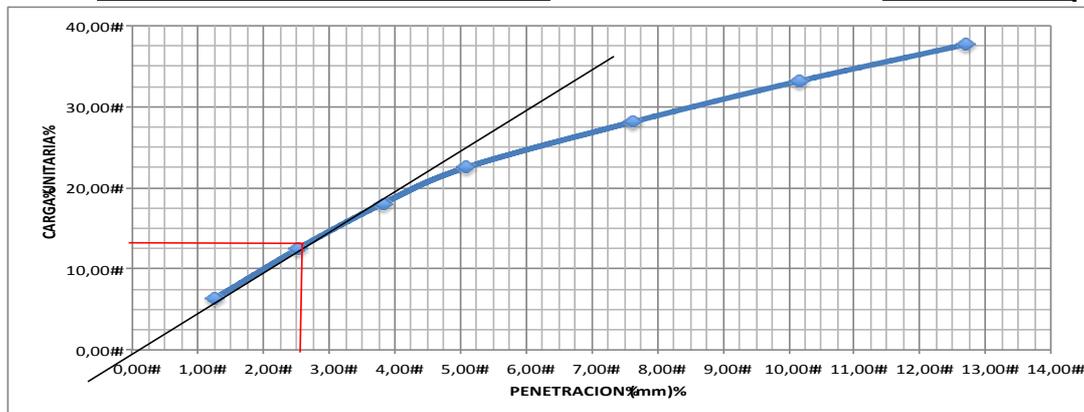
| PENETRACION |        | 12 GOLPES      |                |
|-------------|--------|----------------|----------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA          | CARGA UNITARIA |
|             |        | Carga / Piston | (19.35 cm)     |
| 1,27        | 0,050  | 125            | 6,34           |
| 2,54        | 0,100  | 246            | 12,54          |
| 3,81        | 0,050  | 354            | 18,02          |
| 5,08        | 0,200  | 442            | 22,49          |
| 7,62        | 0,300  | 552            | 28,12          |
| 10,16       | 0,400  | 651            | 33,16          |
| 12,70       | 0,500  | 740            | 37,69          |

**Valor de carga Unitaria corregida**  
**13,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2) \* 100**

**CBR = 19,29**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR + 70 ML (1.75%) POLI. M + 3 ML (0.17%) POLI. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 70 ML (1.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1453.27 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.11 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9.81 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 25 GOLPES |                           |
|-------------|--------|-----------|---------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA            |
|             |        |           | Carga / Piston(19.35 cm2) |
| 1,27        | 0,050  | 273       | 13,89                     |
| 2,54        | 0,100  | 539       | 27,47                     |
| 3,81        | 0,050  | 775       | 39,47                     |
| 5,08        | 0,200  | 967       | 49,26                     |
| 7,62        | 0,300  | 1300      | 66,21                     |
| 10,16       | 0,400  | 1500      | 76,39                     |
| 12,70       | 0,500  | 1670      | 85,05                     |

**Valor de carga Unitaria corregida**

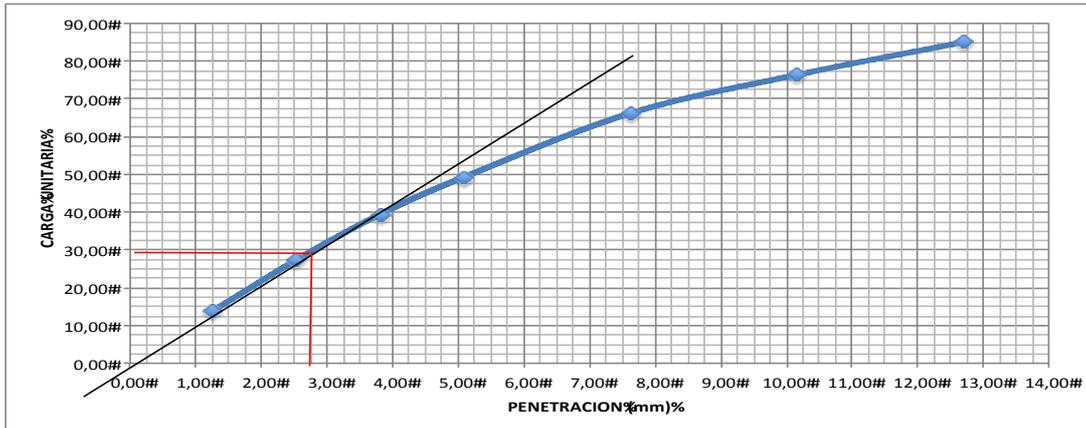
**28,5**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2) \* 100**

**CBR= 40,71**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 70 ML (1.75%) POLI. M + 3 ML (0.17%) POLI. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | SUELO ARCILLOSO (CL) / (A-7)                                          |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 70 ML (1.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1453 Kg/m3    |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1551.27 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.32 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.02 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 56 GOLPES |                          |
|-------------|--------|-----------|--------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA           |
|             |        |           | Carga / Piston(19,35 cm) |
| 1,27        | 0,050  | 440       | 22,41                    |
| 2,54        | 0,100  | 870       | 44,31                    |
| 3,81        | 0,050  | 1250      | 63,66                    |
| 5,08        | 0,200  | 1560      | 79,45                    |
| 7,62        | 0,300  | 1950      | 99,31                    |
| 10,16       | 0,400  | 2300      | 117,14                   |
| 12,70       | 0,500  | 2560      | 130,38                   |

**Valor de carga Unitaria corregida**

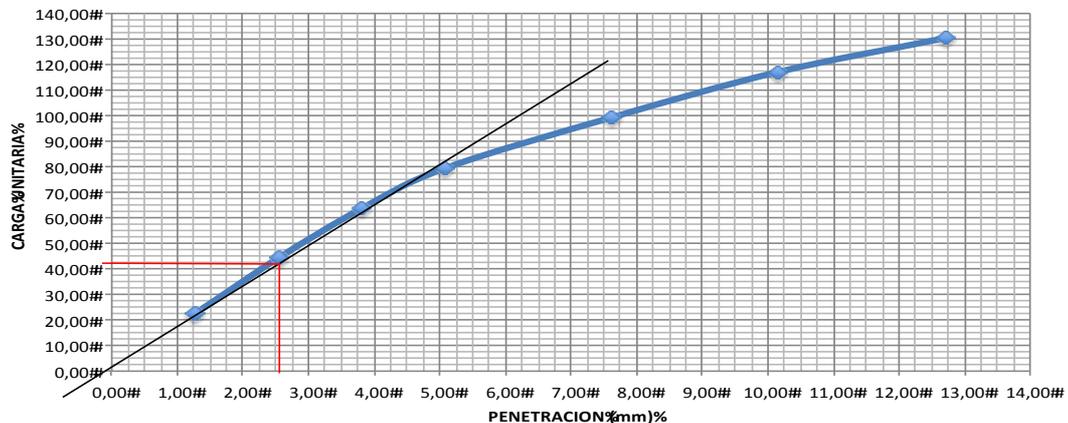
**42,5**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm2**

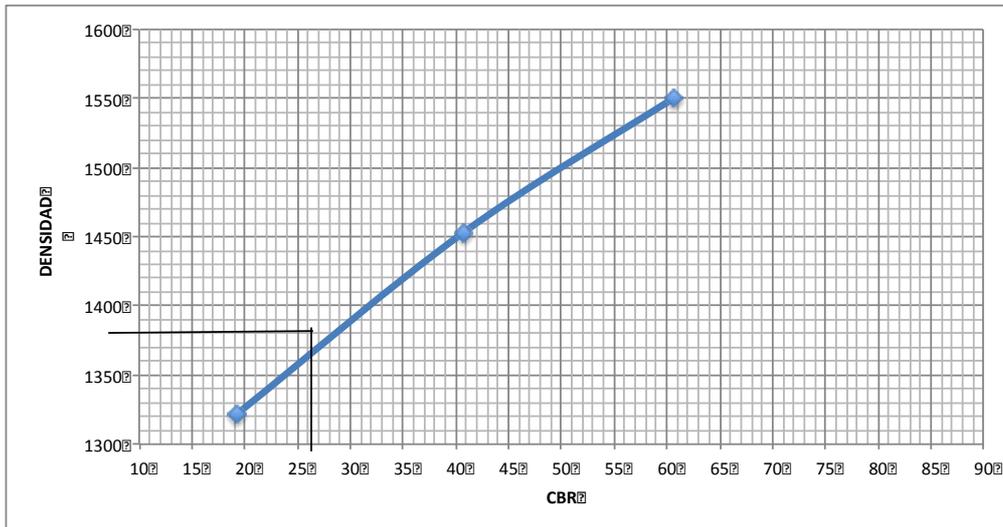
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\*100**

**CBR= 60,71**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (1,75%) de POLÍMERO = 26,2%**

#### 4.4.2 GRAVA ARCILLOSA (A-2-7) AASHTO - (GC) SUCS

##### A.- ENSAYO EN ESTADO NATURAL

**California Bearing Ratio of Laboratory  
Compacted Soils (CBR)**  
" CBR EN ESTADO NATURAL (12 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

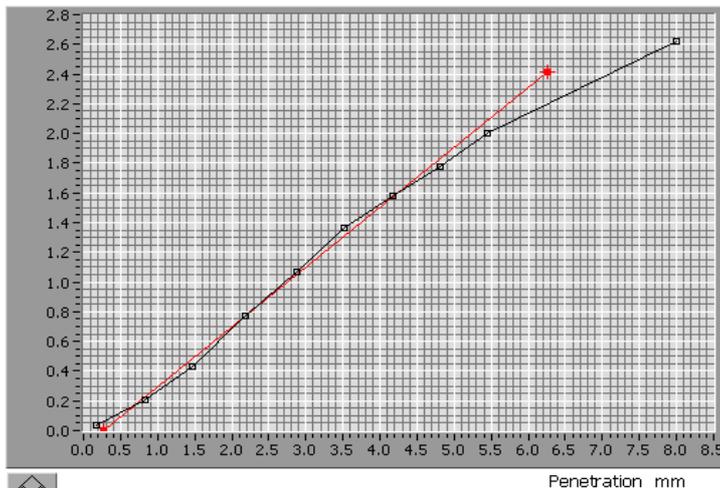
| Test Details              |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98    |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)    |
| <b>Sample Description</b> | CBR EN ESTADO NATURAL (12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1556.07 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.33 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.03 kg |                      |               |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

**Penetration Stage**

Stress MPa



|                 |         |          |
|-----------------|---------|----------|
| Penetration     | 2.54 mm | 5.08 mm  |
| Stress          | 1.0 MPa | 2.0 MPa  |
| Standard Stress | 6.9 MPa | 10.3 MPa |
| <b>CBR</b>      | 15.0 %  | 19.1 %   |



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

**California Bearing Ratio of Laboratory  
Compacted Soils (CBR)**  
"CBR EN ESTADO NATURAL ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

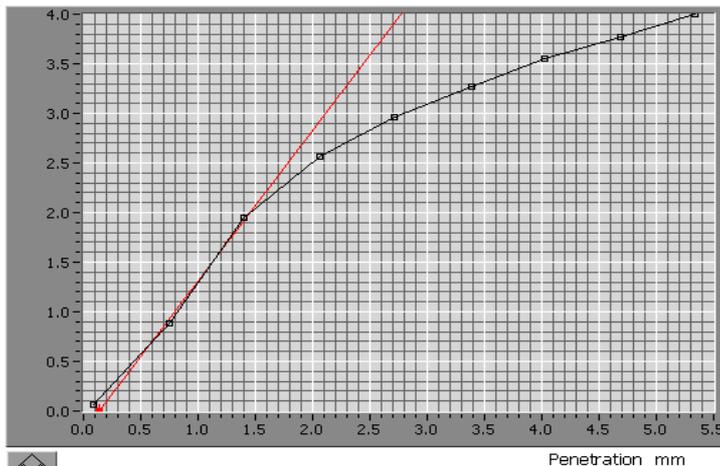
| Test Details              |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98     |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)     |
| <b>Sample Description</b> | CBR EN ESTADO NATURAL ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1645.33 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.52 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.22 kg |                      |               |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

**Penetration Stage**

Stress MPa



|                 |               |               |
|-----------------|---------------|---------------|
| Penetration     | 2.54 mm       | 5.08 mm       |
| Stress          | 2.9 MPa       | 4.0 MPa       |
| Standard Stress | 5.9 MPa       | 10.3 MPa      |
| <b>CBR</b>      | <b>42.7</b> % | <b>38.4</b> % |



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

**California Bearing Ratio of Laboratory  
Compacted Soils (CBR)**  
"CBR EN ESTADO NATURAL (56 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | CASANOVA Y ZAMBRANO | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

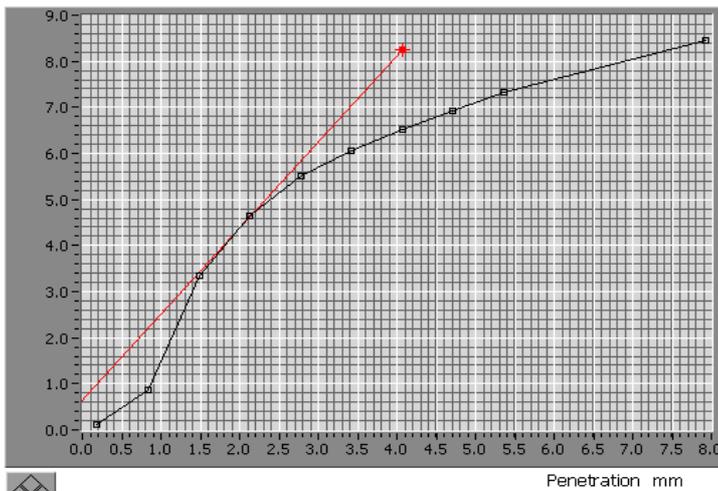
| Test Details              |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98    |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)    |
| <b>Sample Description</b> | CBR EN ESTADO NATURAL (56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |                           |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1705.61 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1705.14 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.65 kg  |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 10.35 kg |                      |                           |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

**Penetration Stage**

Stress MPa

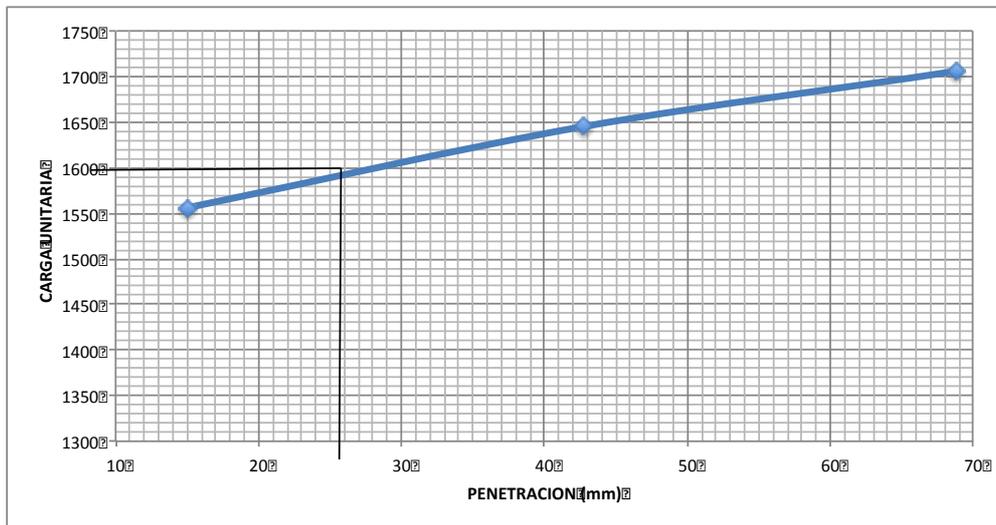


|                 |               |               |
|-----------------|---------------|---------------|
| Penetration     | 2.54 mm       | 5.08 mm       |
| Stress          | 4.7 MPa       | 5.9 MPa       |
| Standard Stress | 5.9 MPa       | 10.3 MPa      |
| <b>CBR</b>      | <b>68.8 %</b> | <b>67.3 %</b> |



|            |                    |
|------------|--------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano |
|            | Manuel Casanova    |

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1681,86 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1597,76 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo en estado natural= 25,7%**

**B.- ENSAYO CON POLÍMERO 12 ml (0,30%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 12 ML (0.3%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                       |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 12 ML (0.3%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |                           |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1422.90 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.05 kg |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 9.75 kg |                      |                           |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

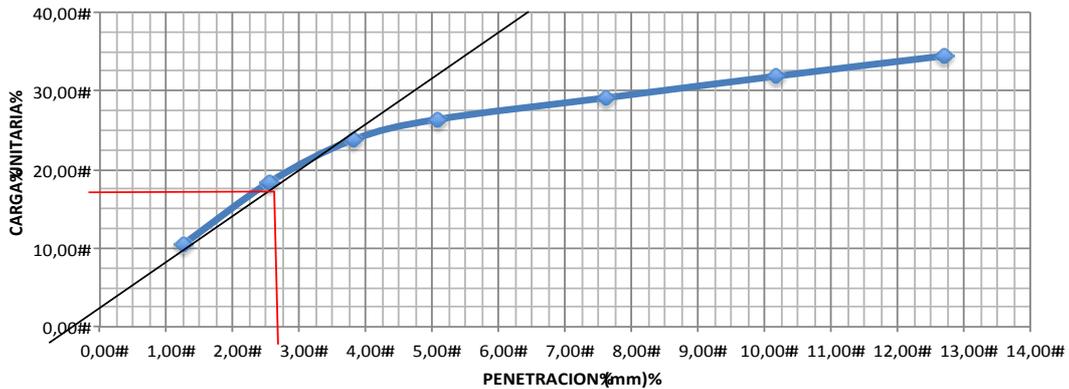
| PENETRACION |        | 12 GOLPES                               |       |
|-------------|--------|-----------------------------------------|-------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA UNITARIA                          |       |
|             |        | Carga / Piston (19.35 cm <sup>2</sup> ) |       |
| 1,27        | 0,050  | 207                                     | 10,53 |
| 2,54        | 0,100  | 360                                     | 18,34 |
| 3,81        | 0,050  | 467                                     | 23,79 |
| 5,08        | 0,200  | 518                                     | 26,39 |
| 7,62        | 0,300  | 572                                     | 29,12 |
| 10,16       | 0,400  | 626                                     | 31,86 |
| 12,70       | 0,500  | 677                                     | 34,46 |

**Valor de carga Unitaria corregida**  
**15**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 21,43**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 12 ML (0.3%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                       |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 12 ML (0.3%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | <b>A</b> | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1662.15 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.56 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.26 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

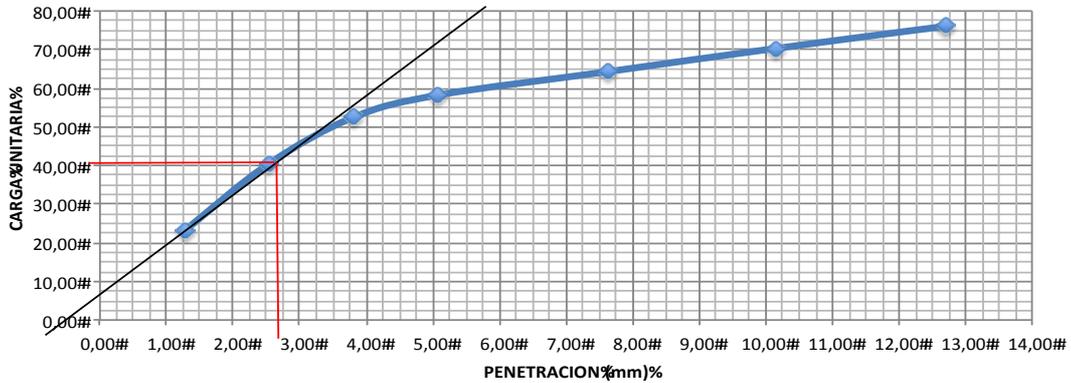
| PENETRACION |        | 25 GOLPES |                                        |
|-------------|--------|-----------|----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                         |
|             |        |           | Carga / Piston(19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 456       | 23,24                                  |
| 2,54        | 0,100  | 795       | 40,49                                  |
| 3,81        | 0,050  | 1031      | 52,52                                  |
| 5,08        | 0,200  | 1144      | 58,25                                  |
| 7,62        | 0,300  | 1263      | 64,30                                  |
| 10,16       | 0,400  | 1381      | 70,35                                  |
| 12,70       | 0,500  | 1494      | 76,09                                  |

**Valor de carga Unitaria corregida**  
**32,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\*100**

**CBR= 46,43**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 12 ML (0.3%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                       |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 12 ML (0.3%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1745.33 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.74 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.44 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

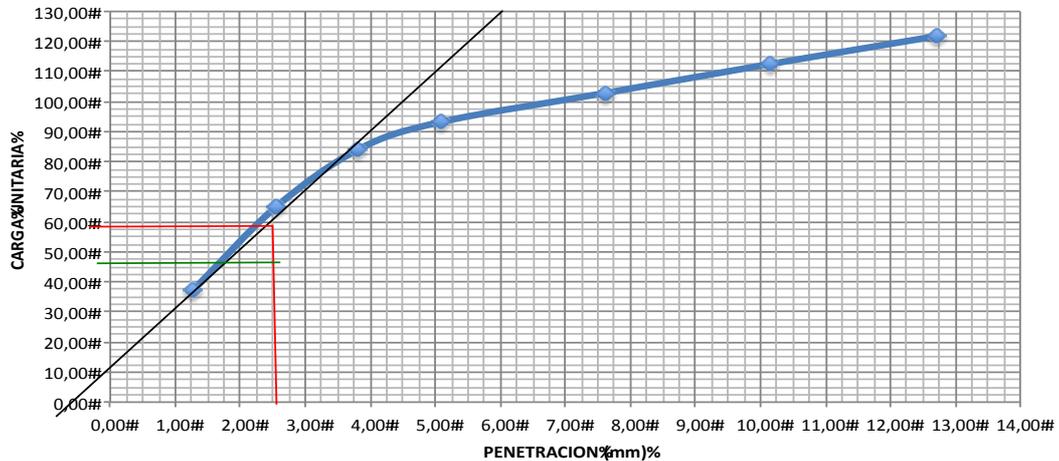
| PENETRACION |        | 56 GOLPES |                           |
|-------------|--------|-----------|---------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA            |
|             |        |           | Carga / Piston (19.35 cm) |
| 1,27        | 0,050  | 730       | 37,18                     |
| 2,54        | 0,100  | 1272      | 64,78                     |
| 3,81        | 0,050  | 1650      | 84,03                     |
| 5,08        | 0,200  | 1830      | 93,20                     |
| 7,62        | 0,300  | 2020      | 102,88                    |
| 10,16       | 0,400  | 2210      | 112,55                    |
| 12,70       | 0,500  | 2390      | 121,72                    |

**Valor de carga Unitaria corregida**  
**45,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm2**

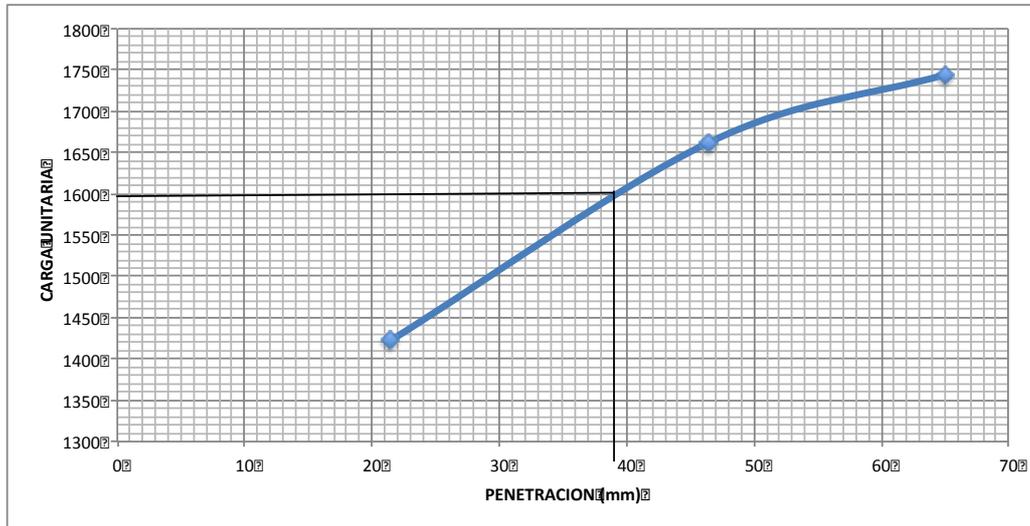
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\*100**

**CBR= 65,00**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1681,86 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1597,76 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (0,30%). de POLÍMERO = 39%**

**C.- ENSAYO CON POLÍMERO 20 ml (0,5%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 20 ML (0.5%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                       |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 20 ML (0.5%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |                           |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1396.73 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 2.99 kg |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 9.69 kg |                      |                           |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

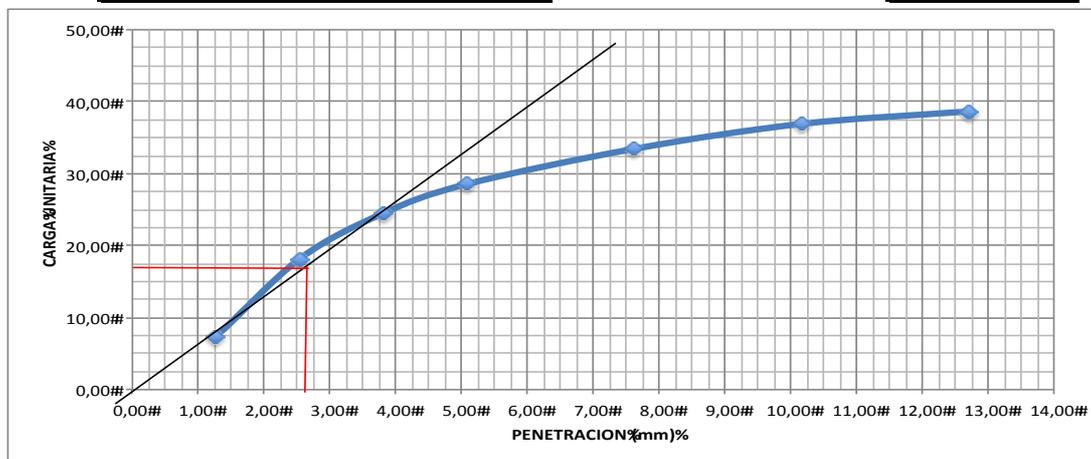
| PENETRACION |        | 12 GOLPES |                                        |
|-------------|--------|-----------|----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                         |
|             |        |           | Carga / Piston(19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 142       | 7,21                                   |
| 2,54        | 0,100  | 357       | 18,17                                  |
| 3,81        | 0,050  | 481       | 24,51                                  |
| 5,08        | 0,200  | 561       | 28,55                                  |
| 7,62        | 0,300  | 657       | 33,45                                  |
| 10,16       | 0,400  | 725       | 36,91                                  |
| 12,70       | 0,500  | 759       | 38,66                                  |

**Valor de carga Unitaria**  
**16,9**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 24,14**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 20 ML (0.5%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                       |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                       |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 20 ML (0.5%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1602.34 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.43 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.13 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 25 GOLPES                |                |
|-------------|--------|--------------------------|----------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA                    | CARGA UNITARIA |
|             |        | Carga / Piston(19.35 cm) |                |
| 1,27        | 0,050  | 261                      | 13,28          |
| 2,54        | 0,100  | 657                      | 33,46          |
| 3,81        | 0,050  | 886                      | 45,14          |
| 5,08        | 0,200  | 1032                     | 52,58          |
| 7,62        | 0,300  | 1210                     | 61,61          |
| 10,16       | 0,400  | 1335                     | 67,98          |
| 12,70       | 0,500  | 1397                     | 71,15          |

**Valor de carga Unitaria**

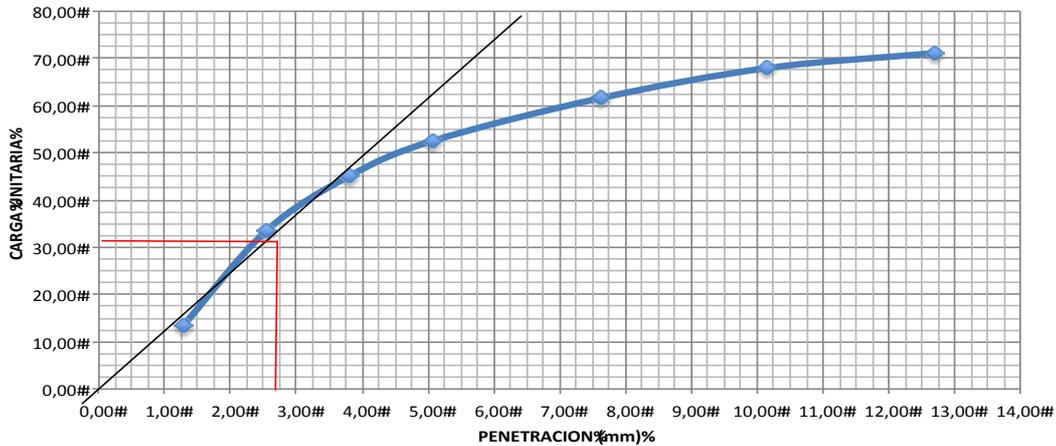
**33,5**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\*100**

**CBR= 47,86**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 20 ML (0.5%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                     |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                      |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                      |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 20 ML (0.5%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L (56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |                           |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1713.55 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.67 kg  |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 10.37 kg |                      |                           |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

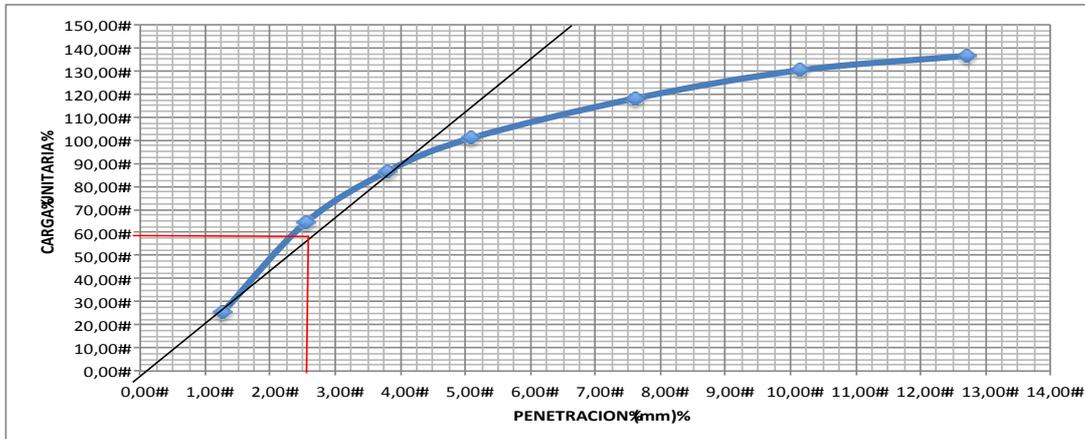
| PENETRACION |        | 56 GOLPES |                                         |
|-------------|--------|-----------|-----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                          |
|             |        |           | Carga / Piston (19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 500       | 25,46                                   |
| 2,54        | 0,100  | 1260      | 64,17                                   |
| 3,81        | 0,050  | 1700      | 86,58                                   |
| 5,08        | 0,200  | 1980      | 100,84                                  |
| 7,62        | 0,300  | 2320      | 118,16                                  |
| 10,16       | 0,400  | 2560      | 130,38                                  |
| 12,70       | 0,500  | 2680      | 136,49                                  |

**Valor de carga Unitaria**  
**62,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

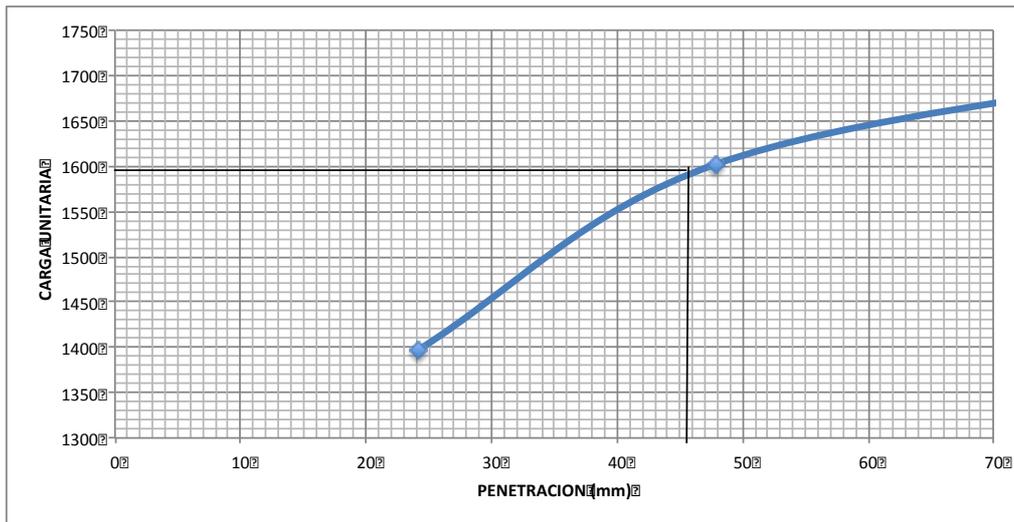
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 89,29**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1681,86 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1597,76 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (0,5%) de POLÍMERO = 45,3%**

**D.- ENSAYO CON POLÍMERO 30 ml (0,75%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 30 ML (0.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

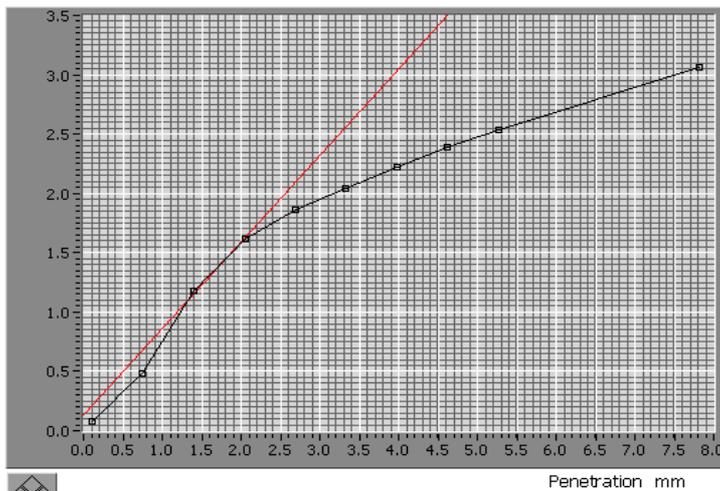
| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 30 ML (0.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1434.58 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.07 Kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 Kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9.77 Kg |                      |               |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

### Penetration Stage

Stress MPa



|                 |         |          |
|-----------------|---------|----------|
| Penetration     | 2.54 mm | 5.08 mm  |
| Stress          | 1.7 MPa | 2.5 MPa  |
| Standard Stress | 6.9 MPa | 10.3 MPa |
| <b>CBR</b>      | 25.2 %  | 23.8 %   |



|            |                    |
|------------|--------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano |
|            | Manuel Casanova    |

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 30 ML (0.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

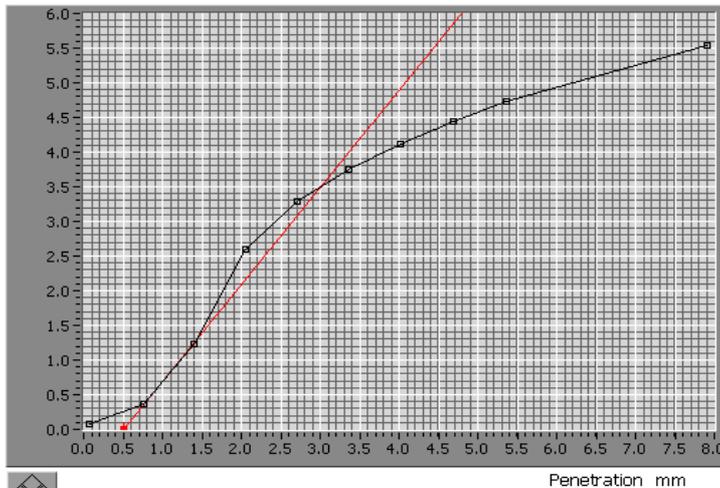
| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 30 ML (0.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |                           |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1590.65 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.41 kg  |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 10.11 kg |                      |                           |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

### Penetration Stage

Stress MPa



|                 |               |               |
|-----------------|---------------|---------------|
| Penetration     | 2.54 mm       | 5.08 mm       |
| Stress          | 3.5 MPa       | 4.8 MPa       |
| Standard Stress | 6.9 MPa       | 10.3 MPa      |
| <b>CBR</b>      | <b>51.1 %</b> | <b>46.6 %</b> |



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 30 ML (0.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

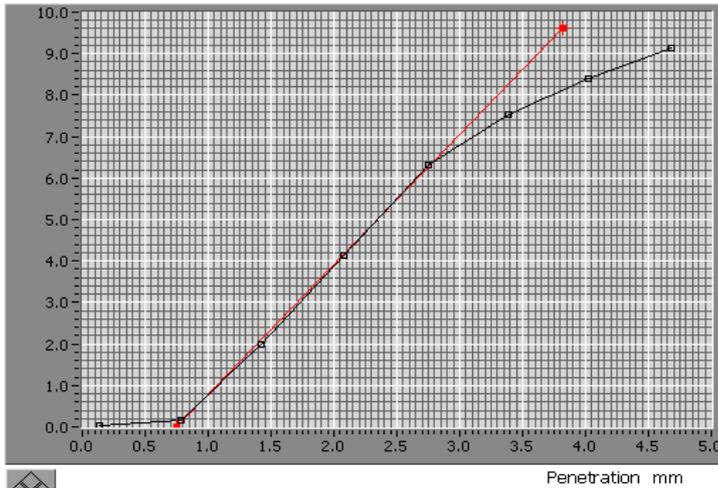
| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 30 ML (0.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1760.28 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.77 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.47 kg |                      |               |

ASTM-D1883-99 / AASHTO-T193-98

### Penetration Stage

Stress MPa

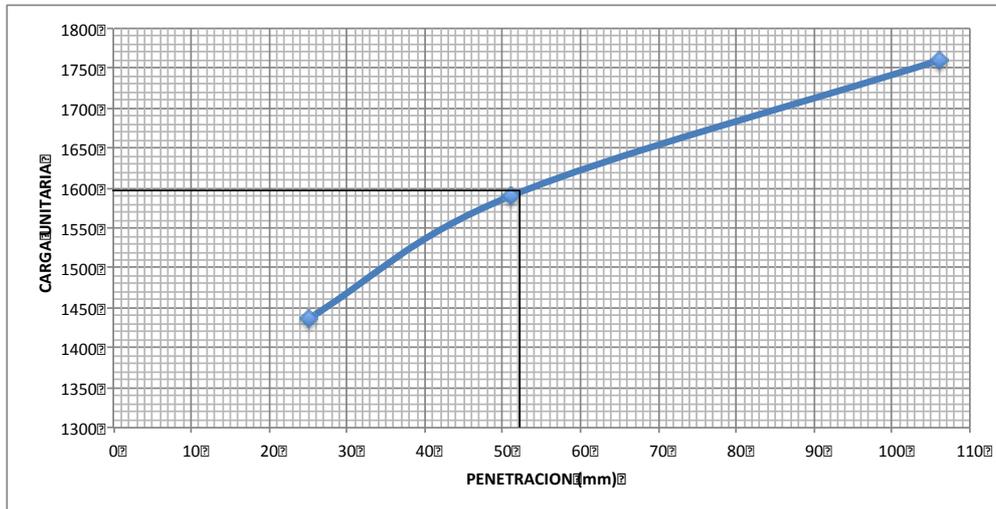


|                 |                |               |
|-----------------|----------------|---------------|
| Penetration     | 2.54 mm        | 5.08 mm       |
| Stress          | 7.3 MPa        | 9.1 MPa       |
| Standard Stress | 6.9 MPa        | 10.3 MPa      |
| <b>CBR</b>      | <b>106.3 %</b> | <b>88.6 %</b> |



|            |                    |
|------------|--------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano |
|            | Manuel Casanova    |

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (0,75%) de POLÍMERO = 52%**

**E.- ENSAYO CON POLÍMERO 50 ml (1,25%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

" CBR + 50 ML (1.25%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 50 ML (1.25%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |                           |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | <b>A</b> | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m <sup>3</sup>    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1471.96 Kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.15 kg  |                      |                           |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |                           |
| <b>Total Weight</b>          | 9.85 kg  |                      |                           |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 12 GOLPES |                                        |
|-------------|--------|-----------|----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                         |
|             |        |           | Carga / Piston(19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 164       | 8,36                                   |
| 2,54        | 0,100  | 330       | 16,80                                  |
| 3,81        | 0,050  | 444       | 22,62                                  |
| 5,08        | 0,200  | 527       | 26,82                                  |
| 7,62        | 0,300  | 665       | 33,88                                  |
| 10,16       | 0,400  | 739       | 37,63                                  |
| 12,70       | 0,500  | 801       | 40,79                                  |

**Valor de carga Unitaria**

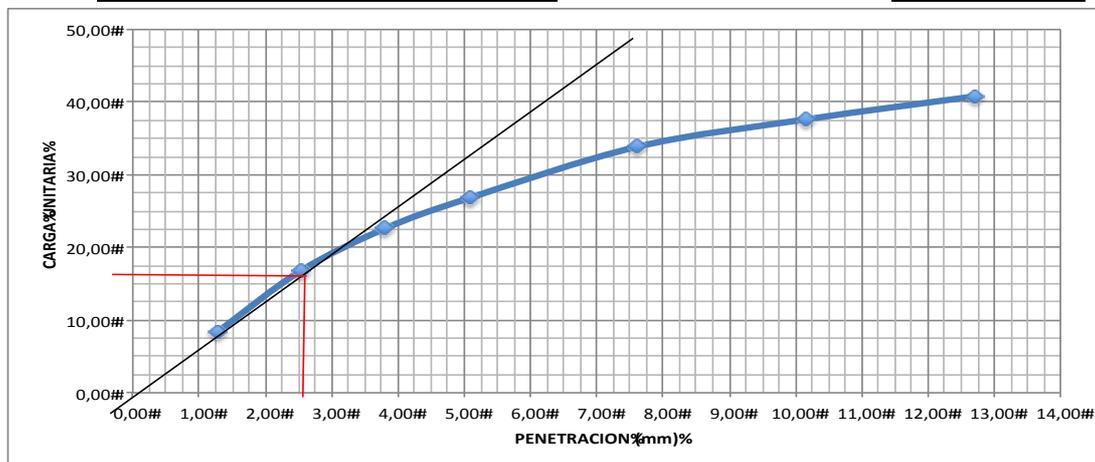
**16**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm<sup>2</sup>**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 22,86**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR+ 50 ML (1.25%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 50 ML (1.25%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1694.86 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.63 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.33 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

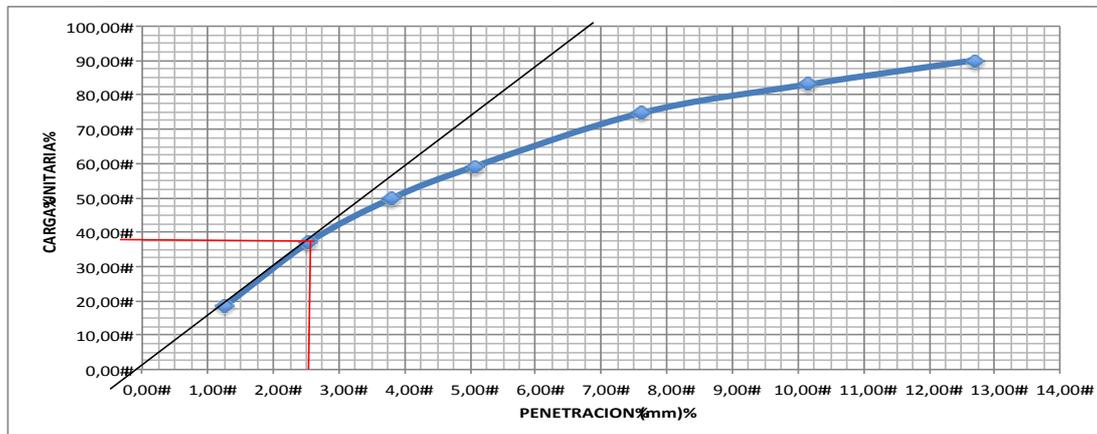
| PENETRACION |        | 25 GOLPES |                                        |
|-------------|--------|-----------|----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                         |
|             |        |           | Carga / Piston(19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 363       | 18,46                                  |
| 2,54        | 0,100  | 728       | 37,08                                  |
| 3,81        | 0,050  | 981       | 49,94                                  |
| 5,08        | 0,200  | 1163      | 59,21                                  |
| 7,62        | 0,300  | 1469      | 74,80                                  |
| 10,16       | 0,400  | 1631      | 83,08                                  |
| 12,70       | 0,500  | 1769      | 90,09                                  |

**Valor de carga Unitaria**  
**35**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 50,00**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR + 50 ML (1.25%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 50 ML (1.25%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1734.58 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.72 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.42 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

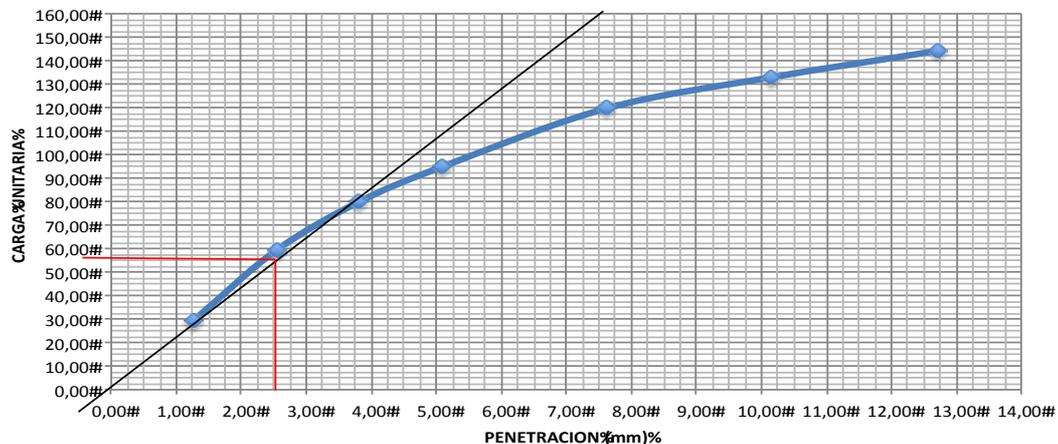
| PENETRACION |        | 56 GOLPES |                                         |
|-------------|--------|-----------|-----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                          |
|             |        |           | Carga / Piston (19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 580       | 29,54                                   |
| 2,54        | 0,100  | 1165      | 59,33                                   |
| 3,81        | 0,050  | 1569      | 79,91                                   |
| 5,08        | 0,200  | 1860      | 94,73                                   |
| 7,62        | 0,300  | 2350      | 119,68                                  |
| 10,16       | 0,400  | 2610      | 132,93                                  |
| 12,70       | 0,500  | 2830      | 144,13                                  |

**Valor de carga Unitaria**  
**57,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm<sup>2</sup>**

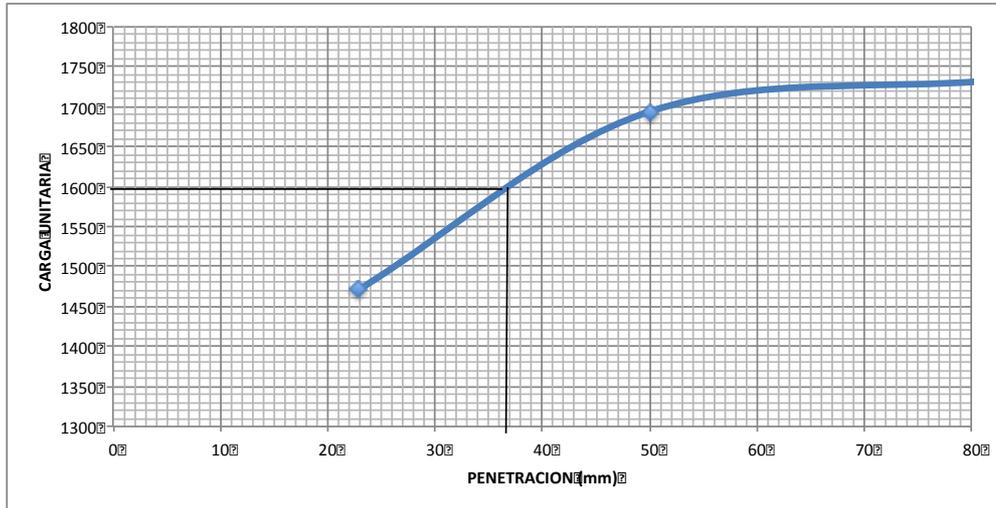
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 82,14**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (1,25%) de POLÍMERO = 37%**

**F.- ENSAYO CON POLÍMERO 70 ml (1,75%).**

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR+ 70 ML (1.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 12 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 70 ML (1.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 12 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |         |                      |               |
|------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A       | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm  | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm | <b>Dry Density</b>   | 1520.10 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.25 kg |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg  |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 9.95 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

| PENETRACION |        | 12 GOLPES |                                            |
|-------------|--------|-----------|--------------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA<br>Carga / Piston(19.35 cm) |
| 1,27        | 0,050  | 181       | 9,23                                       |
| 2,54        | 0,100  | 343       | 17,45                                      |
| 3,81        | 0,050  | 433       | 22,06                                      |
| 5,08        | 0,200  | 484       | 24,66                                      |
| 7,62        | 0,300  | 583       | 29,70                                      |
| 10,16       | 0,400  | 665       | 33,88                                      |
| 12,70       | 0,500  | 736       | 37,48                                      |

**Valor de carga Unitaria corregida**

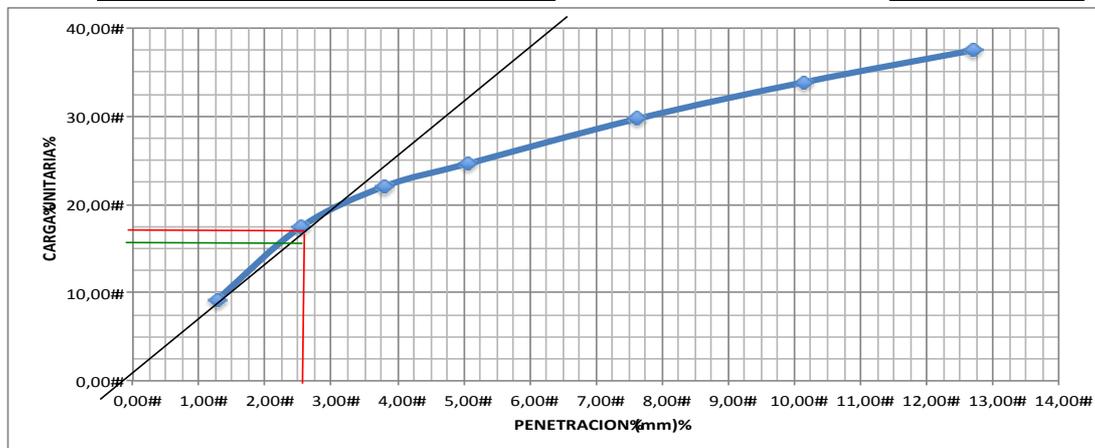
**15,6**

**Valor Standar para 0,1"**

**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2)\* 100**

**CBR= 22,29**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR + 70 ML (1.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 25 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 75 ML (1.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 25 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1670.10 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.57 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.27 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

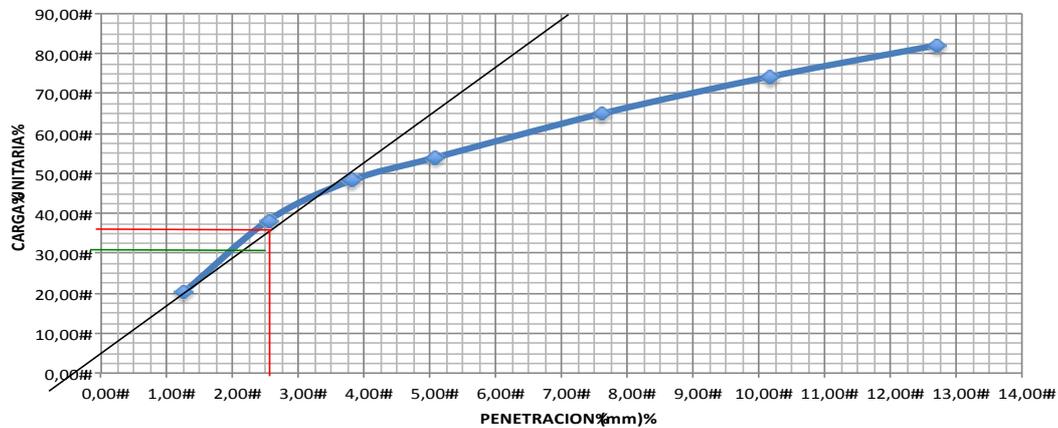
| PENETRACION |        | 25 GOLPES                 |                |
|-------------|--------|---------------------------|----------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA                     | CARGA UNITARIA |
|             |        | Carga / Piston (19.35 cm) |                |
| 1,27        | 0,050  | 397                       | 20,21          |
| 2,54        | 0,100  | 750                       | 38,21          |
| 3,81        | 0,050  | 949                       | 48,31          |
| 5,08        | 0,200  | 1060                      | 54,00          |
| 7,62        | 0,300  | 1277                      | 65,05          |
| 10,16       | 0,400  | 1457                      | 74,20          |
| 12,70       | 0,500  | 1612                      | 82,10          |

**Valor de carga Unitaria corregida**  
**31,5**

**Valor Standar para 0,1"**  
**70 kg/cm2**

**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm2) \* 100**

**CBR= 45,00**



|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Tested By: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------|---------------------------------------|

## California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils (CBR)

"CBR + 70 ML (1.75%) POLÍ. M + 3 ML (0.17%) POLÍ. L ( 56 GOLPES)"



|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test Details              |                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D1883-99 / AASHTO T193-98                                        |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7)                                        |
| <b>Sample Description</b> | CBR + 70 ML (1.75%) POLÍMERO M + 3 ML (0.17%) POLÍMERO L ( 56 GOLPES) |

| Specimen & Equipment Details |          |                      |               |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------|
| <b>Specimen Reference</b>    | A        | <b>Sample Volume</b> | 0.00214 m3    |
| <b>Diameter</b>              | 152 mm   | <b>Bulk Density</b>  | 1681.86 Kg/m3 |
| <b>Length</b>                | 63.5 mm  | <b>Dry Density</b>   | 1764.02 Kg/m3 |
| <b>Specimen Weight</b>       | 3.78 kg  |                      |               |
| <b>Mold Weight</b>           | 6.7 kg   |                      |               |
| <b>Total Weight</b>          | 10.48 kg |                      |               |

### ENSAYO CARGA - PENETRACION

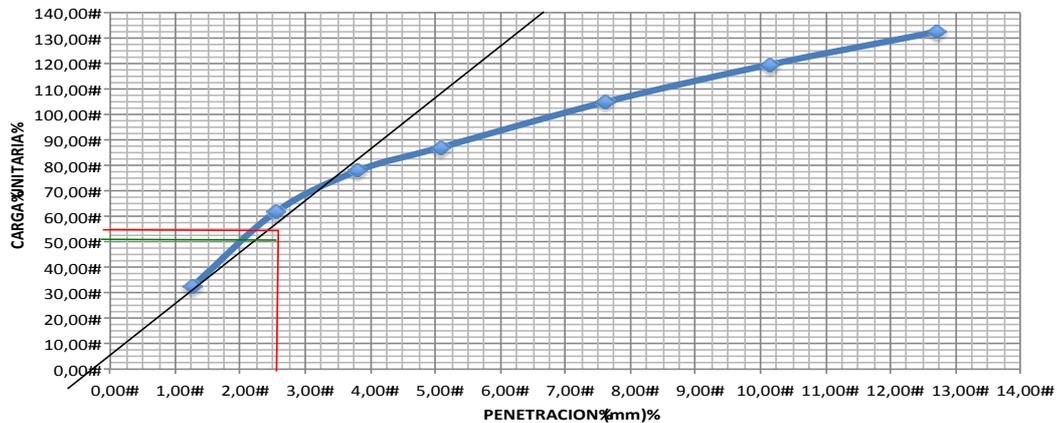
| PENETRACION |        | 56 GOLPES |                                         |
|-------------|--------|-----------|-----------------------------------------|
| (mm)        | (pulg) | CARGA     | CARGA UNITARIA                          |
|             |        |           | Carga / Piston (19.35 cm <sup>2</sup> ) |
| 1,27        | 0,050  | 640       | 32,59                                   |
| 2,54        | 0,100  | 1210      | 61,62                                   |
| 3,81        | 0,050  | 1530      | 77,92                                   |
| 5,08        | 0,200  | 1710      | 87,09                                   |
| 7,62        | 0,300  | 2060      | 104,91                                  |
| 10,16       | 0,400  | 2350      | 119,68                                  |
| 12,70       | 0,500  | 2600      | 132,42                                  |

**Valor de carga Unitaria corregida  
50,25**

**Valor Standar para 0,1"  
70 kg/cm<sup>2</sup>**

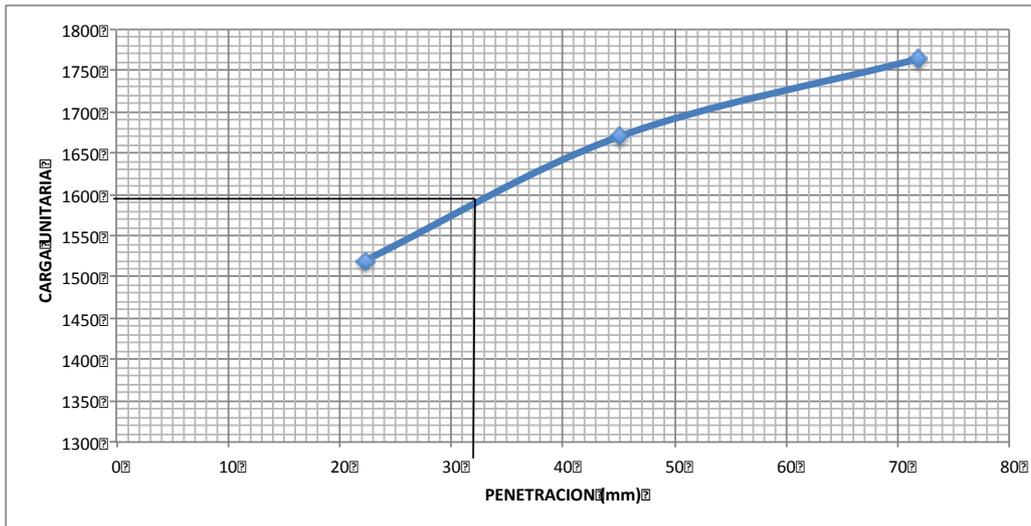
**CBR = (Carga Unitaria/70 kg/cm<sup>2</sup>)\*100**

**CBR= 71,79**



|                   |                                       |
|-------------------|---------------------------------------|
| <b>Tested By:</b> | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|-------------------|---------------------------------------|

Teniendo en consideración la densidad seca máxima del suelo de 1453,20 Kg/m<sup>3</sup> y relacionando el 95% del proctor modificado (1380 kg/m<sup>3</sup>) con las graficas CBR'S de 12, 25 y 56 golpes, se obtiene el valor CBR real.



**CBR para suelo + (1,75%) de POLÍMERO = 32%**

#### **4.5. ENSAYOS DE HINCHAMIENTO.**

##### **A.- ARCILLA (A-7) AASHTO - (CL) SUCS**

**ARCILLA**

| MOLDE            | ESTADO NATURAL | ESTADO NATURAL | ESTADO NATURAL |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Altura Molde mm. | 111,5          | 111,5          | 111,5          |
| N° Capas         | 5              | 5              | 5              |
| N°Golp x Capa    | 12             | 25             | 56             |

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO    |        | 12 GOLPES |              |      | 25 GOLPES |              |      | 56 GOLPES |              |      |
|-----------|--------|-----------|--------------|------|-----------|--------------|------|-----------|--------------|------|
| ACUMULADO |        | LECTURA   | HINCHAMIENTO |      | LECTURA   | HINCHAMIENTO |      | LECTURA   | HINCHAMIENTO |      |
| (Hs)      | (Dias) | DEFORM.   | (mm)         | (%)  | DEFORM.   | (mm)         | (%)  | DEFORM.   | (mm)         | (%)  |
| 0         | 0      | 0,00      | 0,00         | 0,00 | 0,00      | 0,00         | 0,00 | 0,00      | 0,00         | 0,00 |
| 24        | 1      | 0,60      | 0,60         | 0,54 | 0,50      | 0,50         | 0,45 | 0,40      | 0,40         | 0,36 |
| 48        | 2      | 0,72      | 0,72         | 0,65 | 0,65      | 0,65         | 0,58 | 0,55      | 0,55         | 0,49 |
| 72        | 3      | 0,94      | 0,94         | 0,84 | 0,78      | 0,78         | 0,70 | 0,70      | 0,70         | 0,63 |
| 96        | 4      | 0,96      | 0,96         | 0,86 | 0,78      | 0,78         | 0,70 | 0,71      | 0,71         | 0,64 |

**ARCILLA**

| MOLDE            | ESTADO NATURAL + POLI. (1,25%) | ESTADO NATURAL + POLI. (1,25%) | ESTADO NATURAL + POLI. (1,25%) |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Altura Molde mm. | 111,5                          | 111,5                          | 111,5                          |
| N° Capas         | 5                              | 5                              | 5                              |
| N°Golp x Capa    | 12                             | 25                             | 56                             |

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO    |        | 12 GOLPES + (1,25%) |              |      | 25 GOLPES + (1,25%) |              |      | 56 GOLPES + (1,25%) |              |      |
|-----------|--------|---------------------|--------------|------|---------------------|--------------|------|---------------------|--------------|------|
| ACUMULADO |        | LECTURA             | HINCHAMIENTO |      | LECTURA             | HINCHAMIENTO |      | LECTURA             | HINCHAMIENTO |      |
| (Hs)      | (Dias) | DEFORM.             | (mm)         | (%)  | DEFORM.             | (mm)         | (%)  | DEFORM.             | (mm)         | (%)  |
| 0         | 0      | 0,00                | 0,00         | 0,00 | 0,00                | 0,00         | 0,00 | 0,00                | 0,00         | 0,00 |
| 24        | 1      | 0,27                | 0,27         | 0,24 | 0,20                | 0,20         | 0,18 | 0,11                | 0,11         | 0,10 |
| 48        | 2      | 0,31                | 0,31         | 0,28 | 0,23                | 0,23         | 0,21 | 0,12                | 0,12         | 0,11 |
| 72        | 3      | 0,35                | 0,35         | 0,31 | 0,24                | 0,24         | 0,22 | 0,12                | 0,12         | 0,11 |
| 96        | 4      | 0,35                | 0,35         | 0,31 | 0,24                | 0,24         | 0,22 | 0,12                | 0,12         | 0,11 |

**B.- GRAVA ARCILLOSA (A-2-7) AASHTO - (GC) SUCS**

**GRAVA ARCILLOSA**

| MOLDE            | ESTADO NATURAL | ESTADO NATURAL | ESTADO NATURAL |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Altura Molde mm. | 111,5          | 111,5          | 111,5          |
| N° Capas         | 5              | 5              | 5              |
| N°Golp x Capa    | 12             | 25             | 56             |

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO    |        | 12 GOLPES |              |      | 25 GOLPES |              |      | 56 GOLPES |              |      |
|-----------|--------|-----------|--------------|------|-----------|--------------|------|-----------|--------------|------|
| ACUMULADO |        | LECTURA   | HINCHAMIENTO |      | LECTURA   | HINCHAMIENTO |      | LECTURA   | HINCHAMIENTO |      |
| (Hs)      | (Dias) | DEFORM.   | (mm)         | (%)  | DEFORM.   | (mm)         | (%)  | DEFORM.   | (mm)         | (%)  |
| 0         | 0      | 0,00      | 0,00         | 0,00 | 0,00      | 0,00         | 0,00 | 0,00      | 0,00         | 0,00 |
| 24        | 1      | 0,29      | 0,29         | 0,26 | 0,21      | 0,21         | 0,19 | 0,12      | 0,12         | 0,11 |
| 48        | 2      | 0,31      | 0,31         | 0,28 | 0,24      | 0,24         | 0,22 | 0,17      | 0,17         | 0,15 |
| 72        | 3      | 0,32      | 0,32         | 0,29 | 0,26      | 0,26         | 0,23 | 0,17      | 0,17         | 0,15 |
| 96        | 4      | 0,32      | 0,32         | 0,29 | 0,26      | 0,26         | 0,23 |           |              |      |

**GRAVA ARCILLOSA**

| MOLDE            | ESTADO NATURAL + POLI. (0,75%) | ESTADO NATURAL + POLI. (0,75%) | ESTADO NATURAL + POLI. (0,75%) |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Altura Molde mm. | 111,5                          | 111,5                          | 111,5                          |
| N° Capas         | 5                              | 5                              | 5                              |
| N°Golp x Capa    | 12                             | 25                             | 56                             |

**ENSAYO DE HINCHAMIENTO**

| TIEMPO    |        | 12 GOLPES + (0,75%) |              |      | 25 GOLPES + (0,75%) |              |      | 56 GOLPES + (0,75%) |              |      |
|-----------|--------|---------------------|--------------|------|---------------------|--------------|------|---------------------|--------------|------|
| ACUMULADO |        | LECTURA             | HINCHAMIENTO |      | LECTURA             | HINCHAMIENTO |      | LECTURA             | HINCHAMIENTO |      |
| (Hs)      | (Dias) | DEFORM.             | (mm)         | (%)  | DEFORM.             | (mm)         | (%)  | DEFORM.             | (mm)         | (%)  |
| 0         | 0      | 0,00                | 0,00         | 0,00 | 0,00                | 0,00         | 0,00 | 0,00                | 0,00         | 0,00 |
| 24        | 1      | 0,14                | 0,14         | 0,13 | 0,09                | 0,09         | 0,08 | 0,06                | 0,06         | 0,05 |
| 48        | 2      | 0,17                | 0,17         | 0,15 | 0,11                | 0,11         | 0,10 | 0,08                | 0,08         | 0,07 |
| 72        | 3      | 0,18                | 0,18         | 0,16 | 0,11                | 0,11         | 0,10 | 0,09                | 0,09         | 0,08 |
| 96        | 4      | 0,18                | 0,18         | 0,16 | 0,12                | 0,12         | 0,11 | 0,09                | 0,09         | 0,08 |

**4.6. ENSAYOS COMPRESIÓN SIMPLE.****4.6.1 SUELO ARCILLOSO (A-7) AASHTO - (CL) SUCS****A.- ENSAYO EN ESTADO NATURAL**

**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

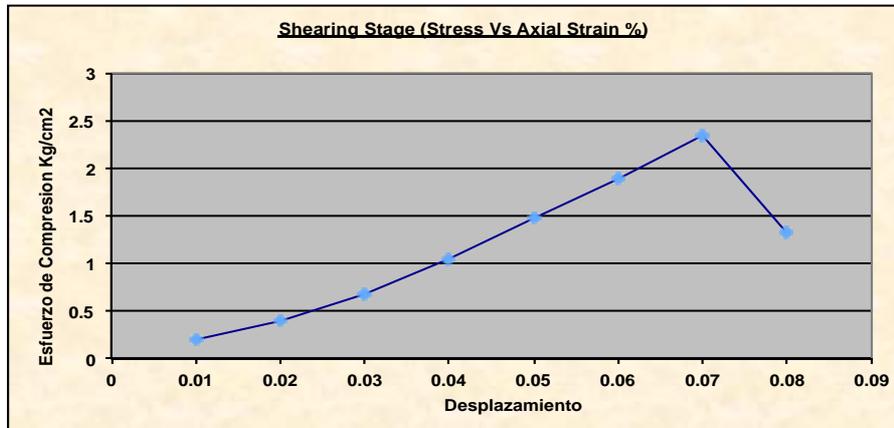


|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test & Sample Details     |                                |                         |         |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94 | <b>Sample Depth</b>     | 1.00 m  |
| <b>Sample Type</b>        | ARCILLA (CL) / (A-7)           | <b>Lab. Temperature</b> | 24 dg.C |
| <b>Sample Description</b> | ESTADO NATURAL                 |                         |         |

| Specimen Details          |          |                        |                |
|---------------------------|----------|------------------------|----------------|
| <b>Specimen Reference</b> | A        | <b>Stage Reference</b> | 1              |
| <b>Initial Height</b>     | 70.00 mm | <b>Description</b>     | ESTADO NATURAL |
| <b>Initial Diameter</b>   | 35.00 mm |                        |                |

| CARGA     |       | DEFORMACION VERTICAL |        | 1 - E | AREA CORREGIDA | ESFUERZO DE COMPRESION |
|-----------|-------|----------------------|--------|-------|----------------|------------------------|
| DIAL LC-2 | Kg.   | DIAL LC-8            | E=AH/H |       | Area /(1 - E)  | Kg/cm2                 |
| 0.0001"   | 1362  | (0.0001")            |        |       |                |                        |
| 0,0015    | 2,04  | 0,01                 | 0,0035 | 1,00  | 10,21          | 0,20                   |
| 0,0030    | 4,09  | 0,02                 | 0,0070 | 0,99  | 10,25          | 0,40                   |
| 0,0051    | 6,95  | 0,03                 | 0,0105 | 0,99  | 10,29          | 0,68                   |
| 0,0078    | 10,62 | 0,04                 | 0,0140 | 0,99  | 10,32          | 1,04                   |
| 0,0110    | 14,98 | 0,05                 | 0,0175 | 0,98  | 10,36          | 1,47                   |
| 0,0142    | 19,34 | 0,06                 | 0,0210 | 0,98  | 10,40          | 1,90                   |
| 0,0175    | 23,84 | 0,07                 | 0,0246 | 0,98  | 10,43          | 2,34                   |
| 0,0100    | 13,62 | 0,08                 | 0,0281 | 0,97  | 10,47          | 1,34                   |



**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

| Conditions at Failure       |                          |                               |                         |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <b>Compressive Strength</b> | 2.36 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>Major Principal Stress</b> | 2.34 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Volume</b>               | 0.0000672 m <sup>3</sup> | <b>Minor Principal Stress</b> | 0.0 kPa                 |
| <b>Dry Density</b>          | 1415.6 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Weight</b>                 | 0.095 Kg                |

Mode of Failure



Material Frágil

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tested By and<br>Date: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------------------|---------------------------------------|

**B.- ENSAYO CON POLÍMERO (0,50%).**

**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

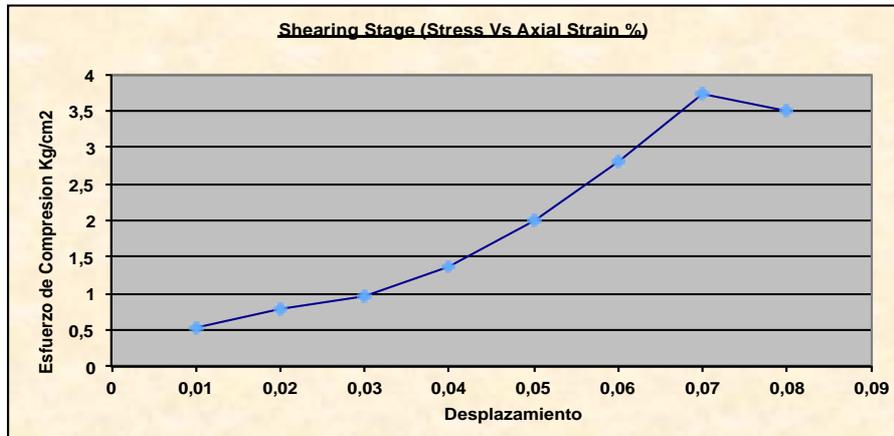


|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test & Sample Details     |                                |                         |         |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94 | <b>Sample Depth</b>     | 1.00 m  |
| <b>Sample Type</b>        | ARCILLA (CL) / (A-7)           | <b>Lab. Temperature</b> | 24 dg.C |
| <b>Sample Description</b> | 0,50 % POLÍMERO M Y L          |                         |         |

| Specimen Details          |          |                        |                      |
|---------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| <b>Specimen Reference</b> | B        | <b>Stage Reference</b> | 1                    |
| <b>Initial Height</b>     | 70.00 mm | <b>Description</b>     | 0,50% POLÍMERO M Y L |
| <b>Initial Diameter</b>   | 35.00 mm |                        |                      |

| CARGA                |       | DEFORMACION VERTICAL   |        | 1 - E | AREA CORREGIDA | ESFUERZO DE COMPRESION |
|----------------------|-------|------------------------|--------|-------|----------------|------------------------|
| DIAL LC-2<br>0.0001" | Kg.   | DIAL LC-8<br>(0.0001") | E=AH/H |       | Area /(1 - E)  | Kg/cm2                 |
| 0,0040               | 5,45  | 0,01                   | 0,004  | 1,00  | 10,21          | 0,54                   |
| 0,0060               | 8,17  | 0,02                   | 0,007  | 0,99  | 10,25          | 0,80                   |
| 0,0073               | 9,94  | 0,03                   | 0,011  | 0,99  | 10,29          | 0,98                   |
| 0,0100               | 13,62 | 0,04                   | 0,014  | 0,99  | 10,32          | 1,34                   |
| 0,0170               | 23,15 | 0,05                   | 0,018  | 0,98  | 10,36          | 2,27                   |
| 0,0210               | 28,60 | 0,06                   | 0,021  | 0,98  | 10,40          | 2,81                   |
| 0,0280               | 38,14 | 0,07                   | 0,025  | 0,98  | 10,43          | 3,75                   |
| 0,0250               | 34,05 | 0,08                   | 0,028  | 0,97  | 10,47          | 3,35                   |



**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

| Conditions at Failure       |                          |                               |                         |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <b>Compressive Strength</b> | 3.74 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>Major Principal Stress</b> | 3.74 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Volume</b>               | 0.0000672 m <sup>3</sup> | <b>Minor Principal Stress</b> | 0.0 kPa                 |
| <b>Dry Density</b>          | 1448.8 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Weight</b>                 | 0.097 Kg                |

Mode of Failure



Material Frágil

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tested By and<br>Date: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------------------|---------------------------------------|

**C.- ENSAYO CON POLÍMERO (0,75%).**

**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

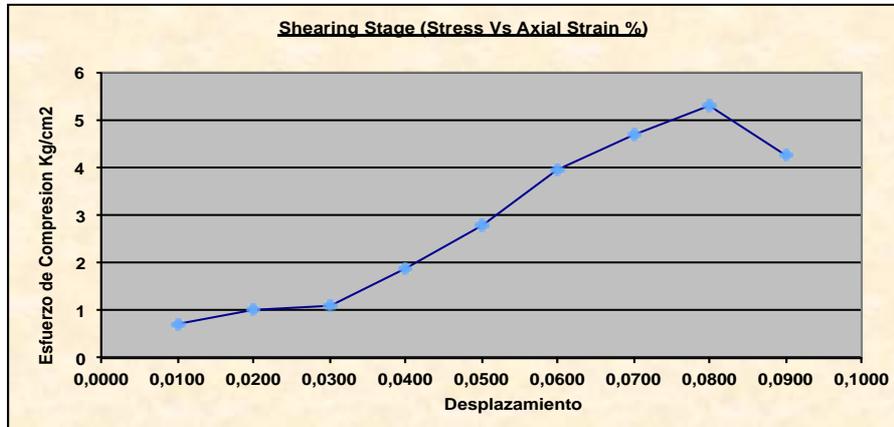


|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test & Sample Details     |                                |                         |         |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94 | <b>Sample Depth</b>     | 1.00 m  |
| <b>Sample Type</b>        | ARCILLA (CL) / (A-7)           | <b>Lab. Temperature</b> | 24 dg.C |
| <b>Sample Description</b> | 0,75% POLÍMERO M Y L           |                         |         |

| Specimen Details          |          |                        |                      |
|---------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| <b>Specimen Reference</b> | C        | <b>Stage Reference</b> | 1                    |
| <b>Initial Height</b>     | 70.00 mm | <b>Description</b>     | 0,75% POLÍMERO M Y L |
| <b>Initial Diameter</b>   | 35.00 mm |                        |                      |

| CARGA                |       | DEFORMACION VERTICAL   |        | 1 - E | AREA CORREGIDA | ESFUERZO DE COMPRESION |
|----------------------|-------|------------------------|--------|-------|----------------|------------------------|
| DIAL LC-2<br>0.0001" | Kg.   | DIAL LC-8<br>(0.0001") | E=AH/H |       | Area /(1 - E)  | Kg/cm2                 |
| 0,0054               | 7,34  | 0,01                   | 0,004  | 1,00  | 10,21          | 0,72                   |
| 0,0075               | 10,19 | 0,02                   | 0,007  | 0,99  | 10,25          | 1,00                   |
| 0,0084               | 11,39 | 0,03                   | 0,011  | 0,99  | 10,29          | 1,12                   |
| 0,0150               | 20,43 | 0,04                   | 0,014  | 0,99  | 10,32          | 2,01                   |
| 0,0209               | 28,47 | 0,05                   | 0,018  | 0,98  | 10,36          | 2,80                   |
| 0,0297               | 40,45 | 0,06                   | 0,021  | 0,98  | 10,40          | 3,97                   |
| 0,0352               | 47,94 | 0,07                   | 0,025  | 0,98  | 10,43          | 4,71                   |
| 0,0396               | 53,94 | 0,08                   | 0,028  | 0,97  | 10,47          | 5,30                   |
| 0,0319               | 43,45 | 1,08                   | 0,379  | 0,62  | 16,39          | 4,27                   |



**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

| Conditions at Failure       |                          |                               |                        |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------|
| <b>Compressive Strength</b> | 5.3 Kg/cm <sup>2</sup>   | <b>Major Principal Stress</b> | 5.3 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Volume</b>               | 0.0000672 m <sup>3</sup> | <b>Minor Principal Stress</b> | 0.0 kPa                |
| <b>Dry Density</b>          | 1486.3 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Weight</b>                 | 0.099 Kg               |

Mode of Failure



Material Semi-Frágil

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tested By and<br>Date: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------------------|---------------------------------------|

**D.- ENSAYO CON POLÍMERO (1,25%).**

**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

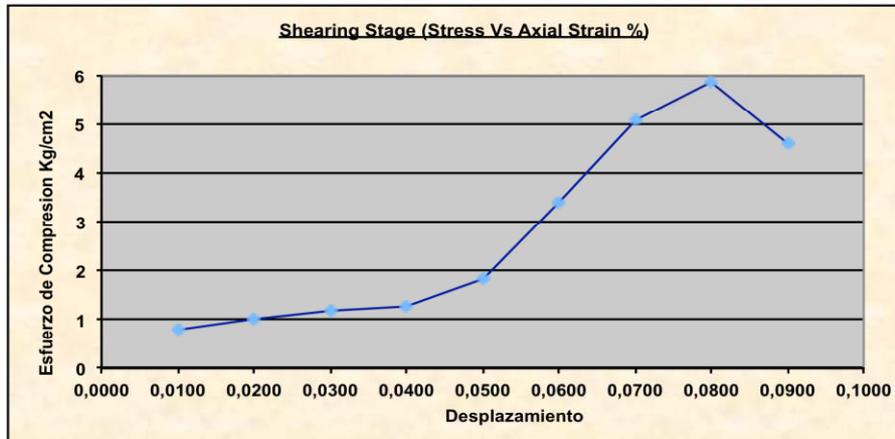


|                |                     |                |          |
|----------------|---------------------|----------------|----------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | RUFFILLI |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1        |

| Test & Sample Details     |                                |                         |         |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94 | <b>Sample Depth</b>     | 1.00 m  |
| <b>Sample Type</b>        | ARCILLA (CL) / (A-7)           | <b>Lab. Temperature</b> | 24 dg.C |
| <b>Sample Description</b> | 1,25% POLÍMERO M Y L           |                         |         |

| Specimen Details          |          |                        |                      |
|---------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| <b>Specimen Reference</b> | D        | <b>Stage Reference</b> | 1                    |
| <b>Initial Height</b>     | 70.00 mm | <b>Description</b>     | 1,25% POLÍMERO M Y L |
| <b>Initial Diameter</b>   | 35.00 mm |                        |                      |

| CARGA                |       | DEFORMACION VERTICAL   |        | 1 - E | AREA CORREGIDA | ESFUERZO DE COMPRESION |
|----------------------|-------|------------------------|--------|-------|----------------|------------------------|
| DIAL LC-2<br>0.0001" | Kg.   | DIAL LC-8<br>(0.0001") | E=AH/H |       | Area /(1 - E)  | Kg/cm2                 |
| 0,0059               | 7,99  | 0,01                   | 0,0035 | 1,00  | 10,21          | 0,78                   |
| 0,0077               | 10,49 | 0,02                   | 0,0070 | 0,99  | 10,25          | 1,03                   |
| 0,0090               | 12,22 | 0,03                   | 0,0105 | 0,99  | 10,29          | 1,20                   |
| 0,0095               | 13,00 | 0,04                   | 0,0140 | 0,99  | 10,32          | 1,28                   |
| 0,0138               | 18,80 | 0,05                   | 0,0175 | 0,98  | 10,36          | 1,85                   |
| 0,0253               | 34,46 | 0,06                   | 0,0210 | 0,98  | 10,40          | 3,39                   |
| 0,0380               | 51,76 | 0,07                   | 0,0246 | 0,98  | 10,43          | 5,09                   |
| 0,0437               | 59,52 | 0,08                   | 0,0281 | 0,97  | 10,47          | 5,85                   |
| 0,0345               | 46,99 | 0,09                   | 0,0316 | 0,97  | 10,51          | 4,62                   |



**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**



| Conditions at Failure       |                          |                               |                         |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <b>Compressive Strength</b> | 5.85 Kg/cm <sup>2</sup>  | <b>Major Principal Stress</b> | 5.85 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Volume</b>               | 0.0000672 m <sup>3</sup> | <b>Minor Principal Stress</b> | 0.0 kPa                 |
| <b>Dry Density</b>          | 1430.7 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Weight</b>                 | 0.096 Kg                |

Mode of Failure



Material Semi-Frágil

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tested By and<br>Date: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------------------|---------------------------------------|

**4.6.2 GRAVA ARCILLOSA (A-2-7) AASHTO - (GC) SUCS**

**A.- ENSAYO EN ESTADO NATURAL.**

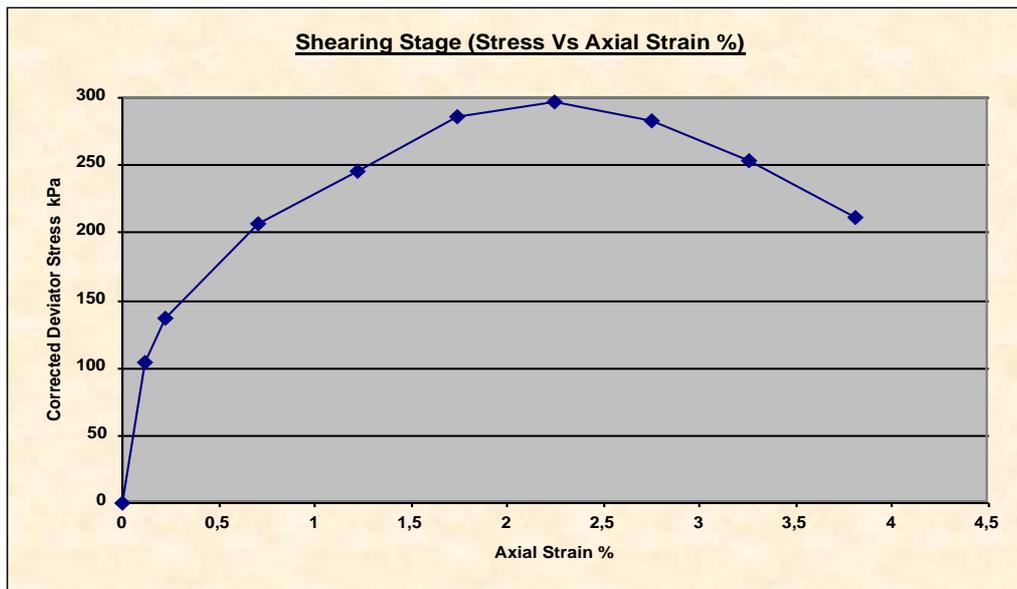
**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

| <b>Test &amp; Sample Details</b> |                                |                         |         |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------|
| <b>Standard</b>                  | ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94 | <b>Sample Depth</b>     | 1.00 m  |
| <b>Sample Type</b>               | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7) | <b>Lab. Temperature</b> | 24 dg.C |
| <b>Sample Description</b>        | ESTADO NATURAL                 |                         |         |

| <b>Specimen Details</b>   |          |                        |                |
|---------------------------|----------|------------------------|----------------|
| <b>Specimen Reference</b> | A        | <b>Stage Reference</b> | 1              |
| <b>Initial Height</b>     | 70.00 mm | <b>Description</b>     | ESTADO NATURAL |
| <b>Initial Diameter</b>   | 35.00 mm |                        |                |



**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

| Conditions at Failure       |                          |                               |                                      |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Compressive Strength</b> | 283.4 kPa                | <b>Major Principal Stress</b> | 283 kPa ó<br>2,88 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Volume</b>               | 0.0000672 m <sup>3</sup> | <b>Minor Principal Stress</b> | 0.0 kPa                              |
| <b>Dry Density</b>          | 1650.6 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Weight</b>                 | 0.110 Kg                             |

Mode of Failure



Material Frágil

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tested By and<br>Date: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------------------|---------------------------------------|

**B.- ENSAYO CON POLÍMERO (0,50%).**

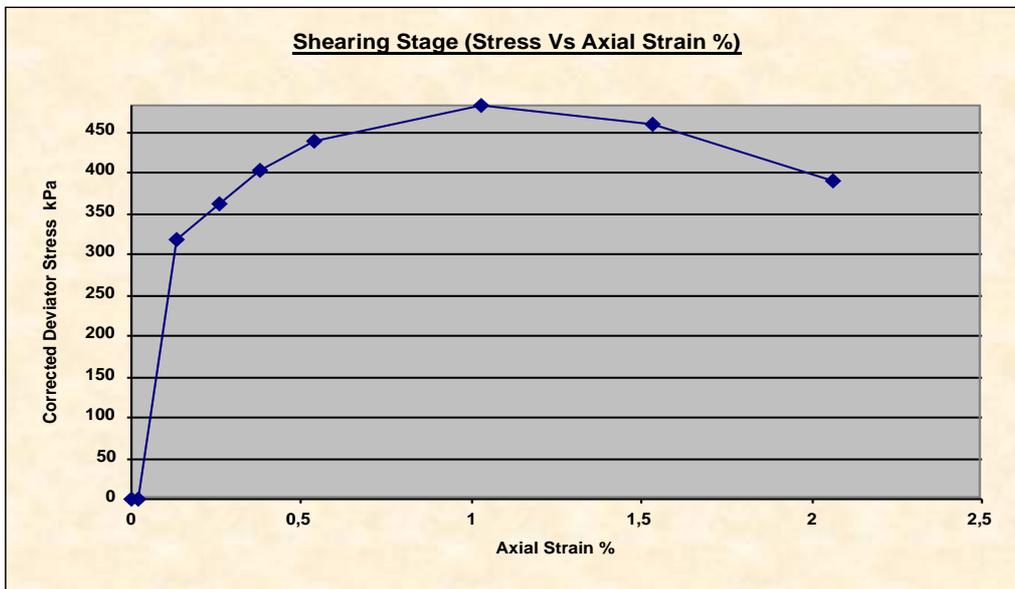
**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

| Test & Sample Details     |                                |                         |          |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94 | <b>Sample Depth</b>     | 1.00 m   |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7) | <b>Lab. Temperature</b> | 24 deg.C |
| <b>Sample Description</b> | 0,50% POLÍMERO M Y L           |                         |          |

| Specimen Details          |          |                        |                      |
|---------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| <b>Specimen Reference</b> | B        | <b>Stage Reference</b> | 1                    |
| <b>Initial Height</b>     | 70.00 mm | <b>Description</b>     | 0,50% POLÍMERO M Y L |
| <b>Initial Diameter</b>   | 35.00 mm |                        |                      |



**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

| Conditions at Failure       |                          |                               |                                        |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Compressive Strength</b> | 459.9 kPa                | <b>Major Principal Stress</b> | 460.3 kPa ó<br>4.69 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Volume</b>               | 0.0000672 m <sup>3</sup> | <b>Minor Principal Stress</b> | 0.0 KPa.                               |
| <b>Dry Density</b>          | 1675.2 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Weight</b>                 | 0.112 Kg                               |

**Mode of Failure**



**Material Frágil**

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tested By and<br>Date: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------------------|---------------------------------------|

**C.- ENSAYO CON POLÍMERO (0,75%).**

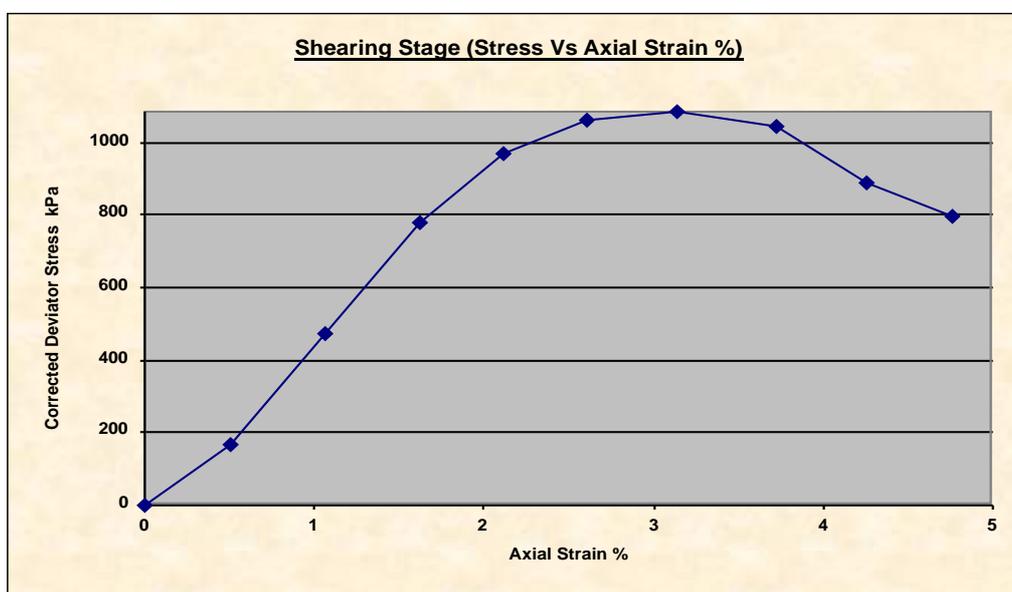
**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

| Test & Sample Details     |                                |                         |          |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94 | <b>Sample Depth</b>     | 1.00 m   |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7) | <b>Lab. Temperature</b> | 24 deg.C |
| <b>Sample Description</b> | 0,75% POLÍMERO M Y L           |                         |          |

| Specimen Details          |          |                        |                      |
|---------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| <b>Specimen Reference</b> | C        | <b>Stage Reference</b> | 1                    |
| <b>Initial Height</b>     | 70.00 mm | <b>Description</b>     | 0,75% POLÍMERO M Y L |
| <b>Initial Diameter</b>   | 35.00 mm |                        |                      |



**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

| Conditions at Failure       |                            |                               |                                        |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Compressive Strength</b> | 889.9 kPa                  | <b>Major Principal Stress</b> | 890.3 kPa ó<br>9.07 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Volume</b>               | 0.0000672 m <sup>3</sup>   | <b>Minor Principal Stress</b> | 0.0 kPa                                |
| <b>Dry Density</b>          | 1683.9.2 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Weight</b>                 | 0.113 Kg                               |

**Mode of Failure**



**Material Semi-Frágil**

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tested By and<br>Date: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------------------|---------------------------------------|

**D.- ENSAYO CON POLÍMERO (1,25%).**

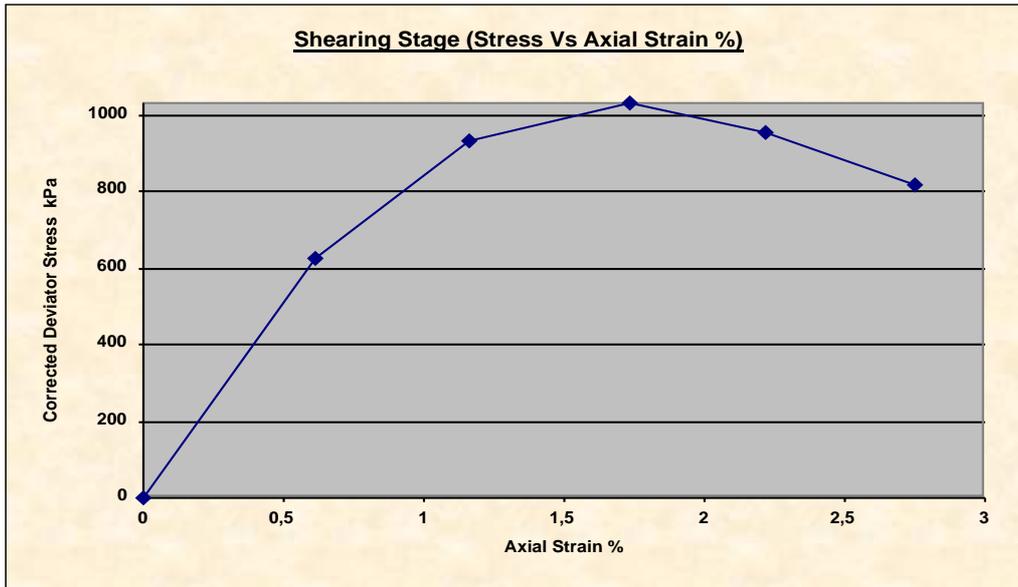
**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**



|                |                     |                |      |
|----------------|---------------------|----------------|------|
| <b>Client</b>  | ZAMBRANO Y CASANOVA | <b>Lab Ref</b> | UEES |
| <b>Project</b> | TESIS               | <b>Job</b>     | 1    |

| Test & Sample Details     |                                |                         |         |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------|
| <b>Standard</b>           | ASTM D2850-95 / AASHTO T296-94 | <b>Sample Depth</b>     | 1.00 m  |
| <b>Sample Type</b>        | GRAVA ARCILLOSA (GC) / (A-2-7) | <b>Lab. Temperature</b> | 24.degC |
| <b>Sample Description</b> | 1,25 % POLÍMERO M Y L          |                         |         |

| Specimen Details          |          |                        |                      |
|---------------------------|----------|------------------------|----------------------|
| <b>Specimen Reference</b> | D        | <b>Stage Reference</b> | 1                    |
| <b>Initial Height</b>     | 70.00 mm | <b>Description</b>     | 1,25% POLÍMERO M Y L |
| <b>Initial Diameter</b>   | 35.00 mm |                        |                      |



**Unconsolidated-Undrained Triaxial  
Compression Test on Cohesive Soils  
(Quick Undrained)**

| Conditions at Failure       |                          |                               |                                        |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Compressive Strength</b> | -953.5 kPa               | <b>Major Principal Stress</b> | 953.9 kPa ó<br>9.72 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>Volume</b>               | 0.0000672 m <sup>3</sup> | <b>Minor Principal Stress</b> | 0.0 kPa                                |
| <b>Dry Density</b>          | 1695.1 Kg/m <sup>3</sup> | <b>Weight</b>                 | 0.114 Kg                               |

Mode of Failure



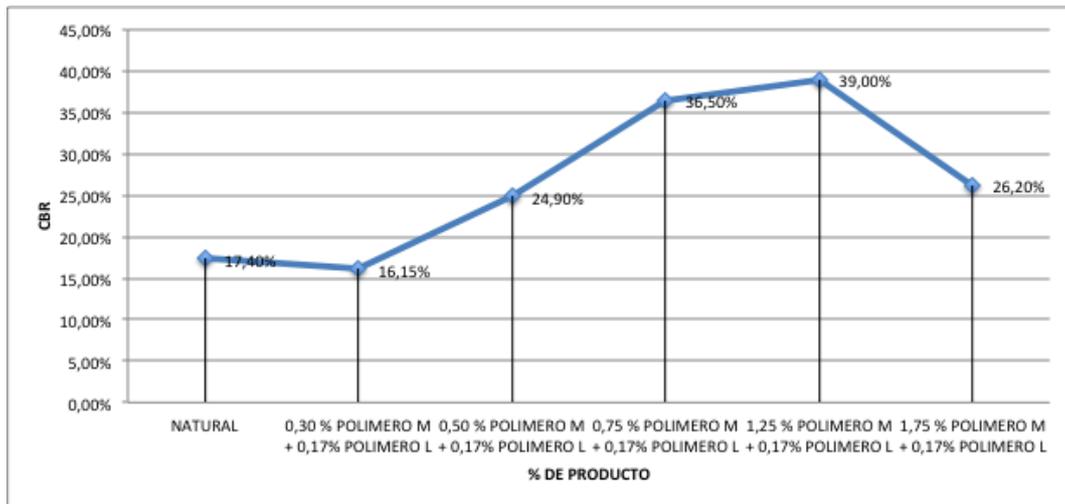
Material Plástico

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Tested By and<br>Date: | Alejandra Zambrano<br>Manuel Casanova |
|------------------------|---------------------------------------|

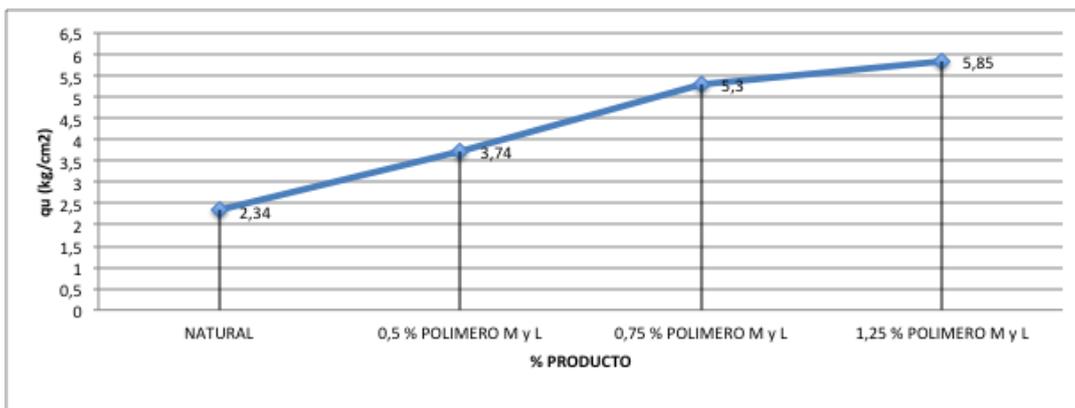
**4.7 CUADROS DE RESUMEN**

**A.- ARCILLA**

| RESUMEN DE CBR: ARCILLA (CL) (A-7)  |                 |
|-------------------------------------|-----------------|
| ESTADO DEL SUELO                    | RESISTENCIA CBR |
| NATURAL                             | 17,40%          |
| 0,30% POLIMERO M + 0,17% POLIMERO L | 16,15%          |
| 0,50% POLIMERO M + 0,17% POLIMERO L | 24,90%          |
| 0,75% POLIMERO M + 0,17% POLIMERO L | 36,50%          |
| 1,25% POLIMERO M + 0,17% POLIMERO L | 39,00%          |
| 1,75% POLIMERO M + 0,17% POLIMERO L | 26,20%          |

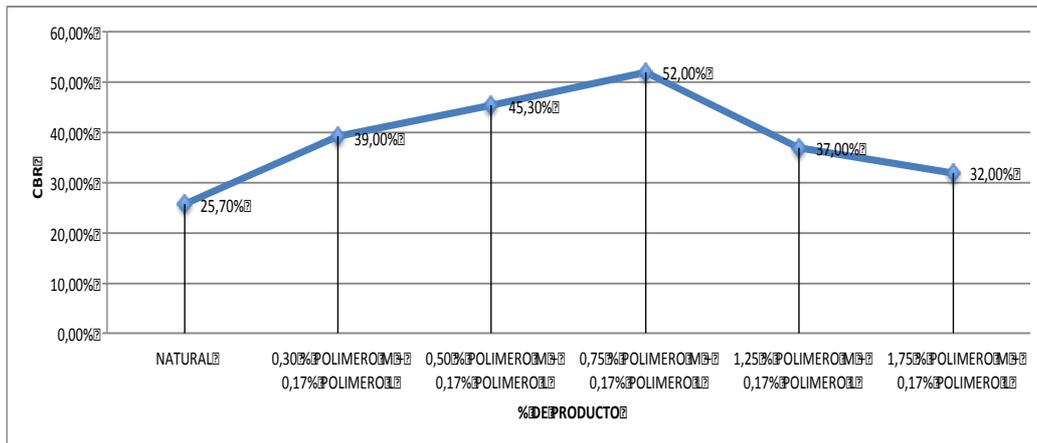


| RESUMEN DE COMPRESIONES SIMPLE: ARCILLA (CL) (A-7) |                         |
|----------------------------------------------------|-------------------------|
| ESTADO DEL SUELO                                   | qu                      |
| NATURAL                                            | 2,34 kg/cm <sup>2</sup> |
| 0,5% POLIMERO M y L                                | 3,74 kg/cm <sup>2</sup> |
| 0,75% POLIMERO M y L                               | 5,3 kg/cm <sup>2</sup>  |
| 1,25% POLIMERO M y L                               | 5,85 kg/cm <sup>2</sup> |

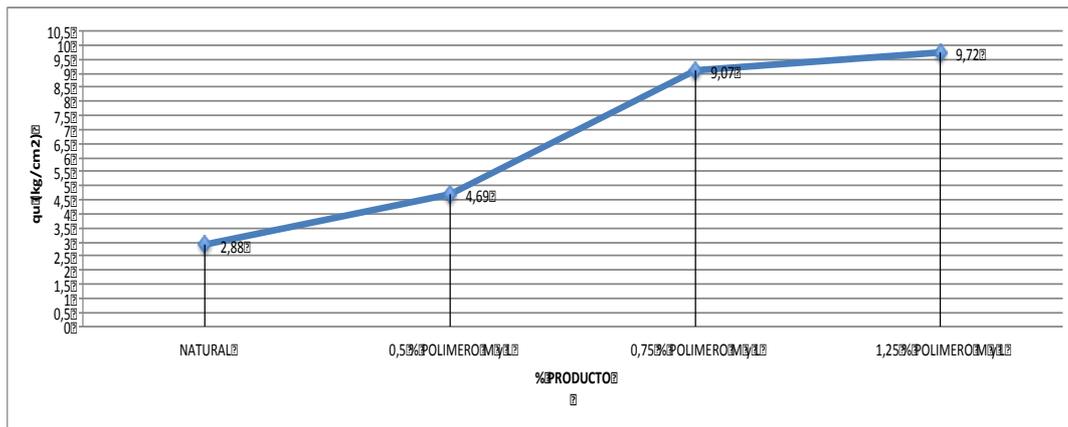


## B.- GRAVA ARCILLOSA

| RESUMEN DE CBR: GRAVA ARCILLOSA (GC) (A-2-7) |                 |
|----------------------------------------------|-----------------|
| ESTADO DEL SUELO                             | RESISTENCIA CBR |
| NATURAL                                      | 25,70%          |
| 0,30% POLIMERO + 0,17% POLIMERO              | 39,00%          |
| 0,50% POLIMERO + 0,17% POLIMERO              | 45,30%          |
| 0,75% POLIMERO + 0,17% POLIMERO              | 52,00%          |
| 1,25% POLIMERO + 0,17% POLIMERO              | 37,00%          |
| 1,75% POLIMERO + 0,17% POLIMERO              | 32,00%          |



| RESUMEN DE COMPRESIÓN SIMPLE: GRAVA ARCILLOSA (GC) (A-2-7) |                         |
|------------------------------------------------------------|-------------------------|
| ESTADO DEL SUELO                                           | $q_u$                   |
| NATURAL                                                    | 2,88 kg/cm <sup>2</sup> |
| 0,50% POLIMERO + 0,17% POLIMERO                            | 4,69 kg/cm <sup>2</sup> |
| 0,75% POLIMERO + 0,17% POLIMERO                            | 9,07 kg/cm <sup>2</sup> |
| 1,25% POLIMERO + 0,17% POLIMERO                            | 9,72 kg/cm <sup>2</sup> |



## 4.8 MODELOS MATEMÁTICOS.

### 4.8.1 CBR EN GRAVA ARCILLOSA (A-2-7) AASHTO - (GC) SUCS

Métodos de los Mínimos Cuadrados

$$y = x^2 + bx + c$$

**\* Matriz**

|      | (a)  | (b)  | (c)  |
|------|------|------|------|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| 0,09 | 0,30 | 0,30 | 1,00 |
| 0,25 | 0,50 | 0,50 | 1,00 |
| 0,56 | 0,75 | 0,75 | 1,00 |
| 1,56 | 1,25 | 1,25 | 1,00 |
| 3,06 | 1,75 | 1,75 | 1,00 |

**\* Matriz Transpuesta = At**

|      |      |      |      |      |      |     |
|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0,00 | 0,09 | 0,25 | 0,56 | 1,56 | 3,06 | (a) |
| 0,00 | 0,30 | 0,50 | 0,75 | 1,25 | 1,75 | (b) |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | (c) |

**\* Matriz Unidad**

$$C = At * A$$

|       | (a)  | (b)  | (c) |
|-------|------|------|-----|
| 12,21 | 7,89 | 5,53 |     |
| 7,89  | 5,53 | 4,55 |     |
| 5,53  | 4,55 | 6,00 |     |

**\* Inversa C =**

|       | (a)   | (b)   | (c) |
|-------|-------|-------|-----|
| 1,84  | -3,28 | 0,79  |     |
| -3,28 | 6,31  | -1,77 |     |
| 0,79  | -1,77 | 0,78  |     |

**\* Matriz = (Inversa C \* At)**

|       |       |       |       |       |       |     |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 0,79  | -0,03 | -0,39 | -0,63 | -0,43 | 0,69  | (a) |
| -1,77 | -0,17 | 0,57  | 1,12  | 1,00  | -0,76 | (b) |
| 0,78  | 0,32  | 0,09  | -0,10 | -0,20 | 0,10  | (c) |

VALORES

|      |
|------|
| 25,7 |
| 39   |
| 45,3 |
| 52   |
| 37   |
| 32   |

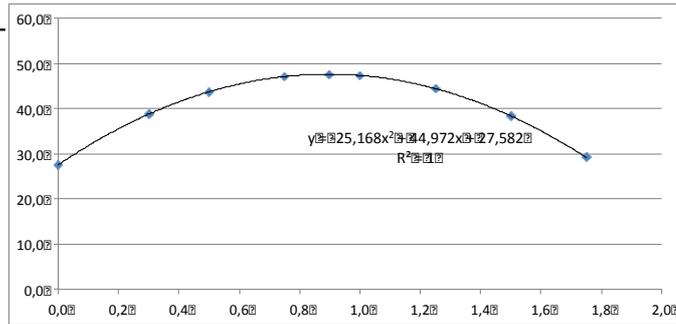
\* Solución de la Matriz = (M. Identidad \* B)

-25,17 (2a)  
 44,97 (b)  
 27,58 (c)

\* Se reemplaza en la Fórmula.

$$y = ax^2 + bx + c$$

| % Polí. | CBR  |
|---------|------|
| 0,0     | 27,6 |
| 0,3     | 38,8 |
| 0,5     | 43,8 |
| 0,8     | 47,2 |
| 0,9     | 47,7 |
| 1,0     | 47,4 |
| 1,3     | 44,5 |
| 1,5     | 38,4 |
| 1,8     | 29,2 |



Para obtener % de Polímero Máximo, se deriva.

$$y = ax^2 + bx + c$$

DERIVANDO  $2ax + b = 0$

DESPEJANDO  $x = -b / (2a)$

$$x = -44,97 / (2 * -25,16)$$

MAX = 0,9 %

RESUMIENDO: El modelo matemático refleja que el porcentaje óptimo de producto para trabajar con Grava Arcillosa, sería 0,9%; es decir, 9 litros por cada m<sup>3</sup> de suelo suelto, sin compactación.

#### 4.8.2 CBR EN ARCILLA (A-7) AASHTO - (CL) SUCS

##### Métodos de los Mínimos Cuadrados

$$y = x^2 + bx + c$$

\* Matriz

|  | (a)  | (b)  | (c)  |
|--|------|------|------|
|  | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
|  | 0,09 | 0,30 | 1,00 |
|  | 0,25 | 0,50 | 1,00 |
|  | 0,56 | 0,75 | 1,00 |
|  | 1,56 | 1,25 | 1,00 |
|  | 3,06 | 1,75 | 1,00 |

**\* Matriz Transpuesta = At**

|      |      |      |      |      |      |     |
|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0,00 | 0,09 | 0,25 | 0,56 | 1,56 | 3,06 | (a) |
| 0,00 | 0,30 | 0,50 | 0,75 | 1,25 | 1,75 | (b) |
| 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | (c) |

**\* Matriz Unidad**

**C = At \* A**

|  | (a)   | (b)  | (c)  |
|--|-------|------|------|
|  | 12,21 | 7,89 | 5,53 |
|  | 7,89  | 5,53 | 4,55 |
|  | 5,53  | 4,55 | 6,00 |

**\* Inversa C =**

|  | (a)    | (b)    | (c)    |
|--|--------|--------|--------|
|  | 1,841  | -3,276 | 0,788  |
|  | -3,276 | 6,308  | -1,766 |
|  | 0,788  | -1,766 | 0,780  |

**\* Matriz = (Inversa C \* At)**

|       |       |       |       |       |       |     |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 0,79  | -0,03 | -0,39 | -0,63 | -0,43 | 0,69  | (a) |
| -1,77 | -0,17 | 0,57  | 1,12  | 1,00  | -0,76 | (b) |
| 0,78  | 0,32  | 0,09  | -0,10 | -0,20 | 0,10  | (c) |

**VALORES CBR**

|   |       |
|---|-------|
|   | 17,4  |
|   | 16,15 |
|   | 24,9  |
| B | 36,5  |
|   | 39    |
|   | 26,2  |

\* Solución de la Matriz = (M. Identidad \* B)

-18,150      (2)

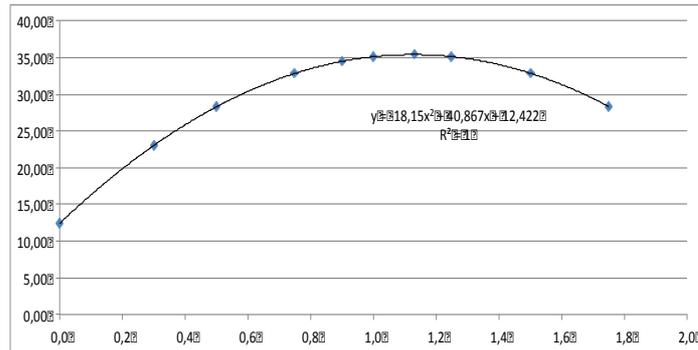
40,867      (1)

12,422      (1)

\* Se reemplaza en la Fórmula.

$$y = ax^2 + bx + c$$

| % Polí. | CBR   |
|---------|-------|
| 0,0     | 12,42 |
| 0,3     | 23,05 |
| 0,5     | 28,32 |
| 0,8     | 32,86 |
| 0,9     | 34,50 |
| 1,0     | 35,14 |
| 1,1     | 35,43 |
| 1,3     | 35,15 |
| 1,5     | 32,88 |
| 1,8     | 28,35 |



Para obtener % de Polímero Máximo, se deriva.

$$y = ax^2 + bx + c$$

DERIVANDO  $2ax + b = 0$

DESPEJANDO  $x = -b / (2a)$

$$x = -40,867 / (2 * -18,15)$$

MAX  $1,13 \%$

RESUMIENDO: El modelo matemático refleja que el porcentaje óptimo de producto para trabajar con Arcilla (CL), sería 1,13%; es decir, 11,3 litros por cada m<sup>3</sup> de suelo suelto, sin compactación.

#### 4.8.3 “q<sub>u</sub>” EN GRAVA ARCILLOSA (A-2-7) AASHTO - (GC) SUCS

Proyección Logarítmica.

$$y = a + b \text{ Log } (x)$$

\* Matriz

Log. (% Polím.)

|       | (b)  | (a) |
|-------|------|-----|
| -3,00 | 1,00 |     |
| -0,30 | 1,00 |     |
| -0,12 | 1,00 |     |
| 0,10  | 1,00 |     |

**\* Matriz Transpuesta = At**

|       |       |       |      |     |
|-------|-------|-------|------|-----|
| -3,00 | -0,30 | -0,12 | 0,10 | (b) |
| 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00 | (a) |

**\* Matriz Unidad**

**C = At \* A**

|       |       |     |
|-------|-------|-----|
| 9,11  | -3,32 | (b) |
| -3,32 | 4,00  | (a) |

**\* Inversa C =**

|      |      |     |
|------|------|-----|
| 0,16 | 0,13 | (b) |
| 0,13 | 0,36 | (a) |

**\* Matriz = (Inversa C \* At)**

|       |      |      |      |     |
|-------|------|------|------|-----|
| -0,34 | 0,08 | 0,11 | 0,15 | (b) |
| -0,03 | 0,32 | 0,34 | 0,37 | (a) |

quREAL

2,88

4,69

B<sub>2-1</sub> 9,07

9,72

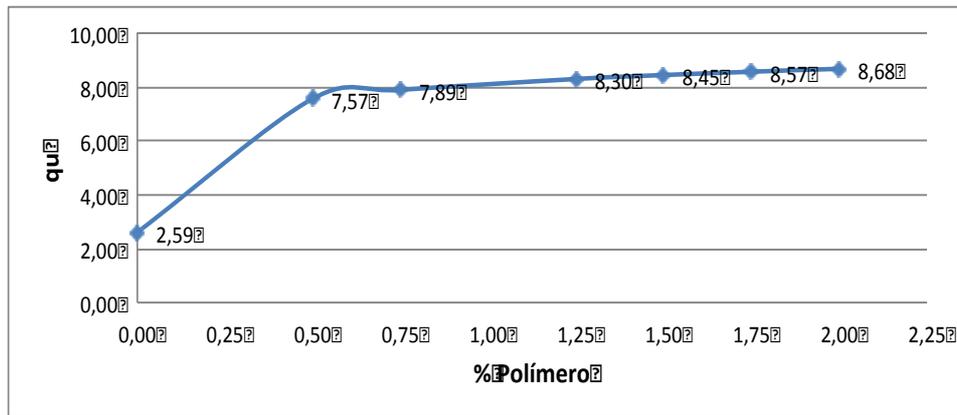
**\* Solución de la Matriz = (M. Ident. \* B)**

1,84253 (b)

8,120682 (a)

\* Se reemplaza en la Fórmula.

| (x) % prod. | (y) qu |
|-------------|--------|
| 0,00        | 2,59   |
| 0,50        | 7,57   |
| 0,75        | 7,89   |
| 1,25        | 8,30   |
| 1,50        | 8,45   |
| 1,75        | 8,57   |
| 2,00        | 8,68   |



RESUMIENDO: El modelo matemático nos arrojó como resultado que a partir del 1,25%, el incremento de resistencia “qu” es mínimo, por lo que incrementar la cantidad de Polímero es incrementar costos mas no resistencia. El gráfico qu - polímero, se vuelve asimétrico.

#### 4.8.4 “qu” EN ARCILLA (A-7) AASHTO - (CL) SUCS

Proyección Logarítmica.

$$y = a + b \text{ Log } (x)$$

\* Matriz

| Log. (% Polím.) |     |
|-----------------|-----|
| (b)             | (a) |
| -3,0            | 1,0 |
| -0,3            | 1,0 |
| -0,1            | 1,0 |
| 0,1             | 1,0 |

**\* Matriz Transpuesta = At**

|    |      |       |       |     |
|----|------|-------|-------|-----|
| -3 | -0,3 | -0,12 | 0,097 | (b) |
| 1  | 1    | 1     | 1     | (a) |

**\* Matriz Unidad**

**C = At \* A**

| (b)   | (a)   |
|-------|-------|
| 9,11  | -3,32 |
| -3,32 | 4,00  |

**\* Inversa C =**

| (b)  | (a)  |
|------|------|
| 0,16 | 0,13 |
| 0,13 | 0,36 |

**\* Matriz = (Inversa C \* At)**

|       |      |      |      |     |
|-------|------|------|------|-----|
| -0,34 | 0,08 | 0,11 | 0,15 | (b) |
| -0,03 | 0,32 | 0,34 | 0,37 | (a) |

quREAL

2,34

3,74

BREAL

5,30

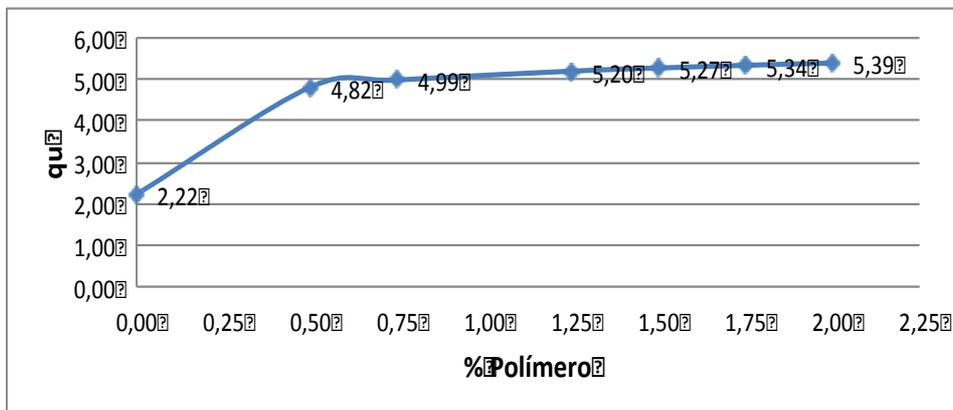
5,85

**\* Solución de la Matriz = (M. Ident. \* B)**

0,9606571 (b)  
 5,1055659 (a)

\* Se reemplaza en la Fórmula.

| (x) % prod. | (y) qu |
|-------------|--------|
| 0,00        | 2,22   |
| 0,50        | 4,82   |
| 0,75        | 4,99   |
| 1,25        | 5,20   |
| 1,50        | 5,27   |
| 1,75        | 5,34   |
| 2,00        | 5,39   |



RESUMIENDO: El modelo matemático nos arrojó como resultado que a partir del 1,25% el incremento de resistencia “qu” es mínimo, por lo que incrementar la cantidad de Polímero es incrementar solamente costos. El gráfico qu - polímero, se vuelve asimétrico.

#### 4.9 DISEÑO DE PAVIMENTO

**Preliminares para todo tipo de Suelo.**

**DISEÑO DE PAVIMENTO AASHTO 93**  
**CAMINO SEGUNDO ORDEN**

1.-PASO VEHICULAR ESTIMADO ( 24 HORAS)

|          |                    | CANTIDAD |
|----------|--------------------|----------|
| LIVIANOS | AUTOS Y FURGONETAS | 550      |
| BUSES    | 2 EJES             | 50       |
| PESADOS  | 3 EJES             | 85       |

\*Tomado de paso vehiculares vía Palenque - Vinces ( LOS RIOS )

2.- TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL

Proyeccion a 20 años

| Tasa de crecimiento vehicular (i) |          |       |          |
|-----------------------------------|----------|-------|----------|
| Período                           | Livianos | Buses | Camiones |
| 2006-2010                         | 3,87     | 1,32  | 3,27     |
| 2011-2015                         | 3,44     | 1,17  | 2,9      |
| 2016-2020                         | 3,1      | 1,05  | 2,61     |
| 2021-2030                         | 2,82     | 0,96  | 2,39     |

TRÁFICO DE PROYECTO

$$T.P = T.A (1 + i)^n$$

T.A = Es el volumen de tráfico obtenido en el conteo vehicular

n = número de años, se lo realiza año por año, por lo tanto su valor es 1.

❖ Tráfico Generado:

$$T.G = 0,2 T.P$$

❖ Tráfico de Desarrollo:

$$T.D = 0,25 T.P$$

|             | Livianos   | Buses     | Pesados    |
|-------------|------------|-----------|------------|
| 2015        | 550        | 50        | 85         |
| TP (2016)   | 567        | 51        | 87         |
| <b>TPDA</b> | <b>826</b> | <b>72</b> | <b>124</b> |

3.- FACTOR EQUIVALENTE.- *esfuerzo producido en asfalto y subrasante. Los esfuerzos y deformaciones son infinitesimales, pero con la repetición y el paso de los años acorta la vida de una vía*

|          |                    | F.E           |
|----------|--------------------|---------------|
| LIVIANOS | AUTOS Y FURGONETAS | <b>0,0456</b> |
| BUSES    | 2 EJES             | <b>3,35</b>   |
| PESADOS  | 3 EJES             | <b>3,07</b>   |

4.- *ESALS*.- Es la cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente 8,16 t = 80 kN para un periodo determinado.

$$ESAL_{(S)} = TPDA(I) * 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{\ln(1 + i)} * F.E.$$

TPDA = Tráfico promedio diario anual a 1 año

i = tasa de crecimiento vehicular

n = número de años de vida útil del pavimento para el presente proyecto 10 años.

F.E = Factor de equivalencia

|       | LIVIANOS | BUSES    | PESADOS   | TOTAL              |
|-------|----------|----------|-----------|--------------------|
| ESALS | 160774,2 | 928002,5 | 1584900,4 | <b>2.673.677,1</b> |

5.- *CALCULO DEL W18*.- El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño, tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8, 2 Ton, se considera por carril de diseño.

$$W_{18} = DD * DL * ESAL_{(S)}$$

DD = Factor de Distribución Direccional

Se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el tránsito con mayor porcentaje de vehículos pesados.

DL = Factor de Distribución por Carril

Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido

| Nº CARRILES EN CADA SENTIDO | PORCENTAJE DE W18 EN EL CARRIL DE DISEÑO |
|-----------------------------|------------------------------------------|
| 1                           | 100                                      |
| 2                           | 80 – 100                                 |
| 3                           | 60 -80                                   |
| 4 o más                     | 50 -7 5                                  |

$$* W_{18} = 0,5 * 1 * 2.673.677,1$$

$$W_{18} = 1.336.838,55$$

6.- *DESVIACION ESTÁNDAR*.-

| Condición          | Pavimentos rígidos | Pavimentos flexibles |
|--------------------|--------------------|----------------------|
| Construcción nueva | 0,35               | 0,45                 |
| Sobrecapas         | 0,39               | 0,49                 |

7.- *CONFIABILIDAD R*.- valor para asegurar el diseño, considerando variaciones que puedan existir en la realidad, para que la vida útil sea por lo menos la del diseño

$$R = 70 \%$$

TABLAS PARA DISEÑO DE PAVIMENTO.

$$NE = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

**a = Coeficiente de material capa**

**D= espesor de la capa**

**m= Calidad de drenaje en porcentaje**

La siguiente tabla muestra los coeficientes “a” de materiales en su mejor condición.

| Componentes de Pavimento Flexible |       |       |       |       |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Componentes del Pavimento         | a1    | a2    | a3    | a4    |
| Capa de Rodadura (H. Asf)         | 0,173 |       |       |       |
| Base de Material Triturado        |       | 0,055 |       |       |
| Sub-base de material granular     |       |       | 0,043 |       |
| Mejoramiento                      |       |       |       | 0,035 |

Los espesores mínimos de capa son los siguientes. (Pulgadas)

| Tránsito en Ejes Equivalentes | Carpetas de Concreto Asfáltico | Bases Granulares |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Menor de 50000                | 1,00 o T.S.                    | 4,0              |
| 50001 - 150000                | 2,0                            | 4,0              |
| 150001 - 500000               | 2,5                            | 4,0              |
| 500001 - 2000000              | 3,0                            | 6,0              |
| 2000001 - 7000000             | 3,5                            | 6,0              |
| Mayor a 7000000               | 4,0                            | 6,0              |

- m = Calidad de drenaje en porcentaje

Capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento, definiendo lo siguiente:

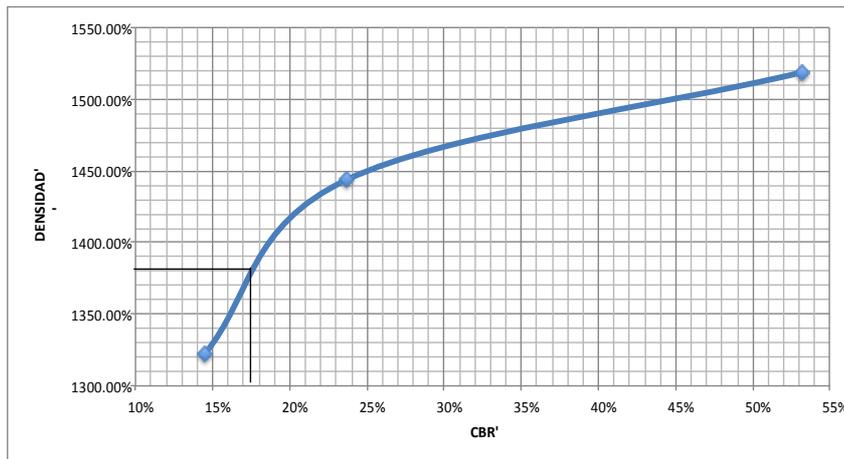
| Porcentaje del Tiempo al cual está Expuesta la Estructura del Pavimento a Niveles de Humedad Próxima a la Saturación |               |           |        |         |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|--------|---------|-----------|
| Calidad de                                                                                                           | Agua Removida | Menor del | 1 - 5% | 5 - 25% | Mayor del |
|                                                                                                                      |               |           |        |         |           |

| Drenaje   | en:           | 1%          |                |                | 25%  |
|-----------|---------------|-------------|----------------|----------------|------|
| Excelente | 2 Horas       | 1,40 - 1,35 | 1,35 -<br>1,30 | 1,30 -<br>1,20 | 1,20 |
| Bueno     | 1 Dia         | 1,35 - 1,25 | 1,25 -<br>1,15 | 1,15 -<br>1,00 | 1,00 |
| Regular   | 1 Semana      | 1,25 - 1,15 | 1,15 -<br>1,05 | 1,00 -<br>0,80 | 0,80 |
| Pobre     | 1 Mes         | 1,15 - 1,05 | 1,05 -<br>0,80 | 0,80 -<br>0,60 | 0,60 |
| Muy Pobre | Agua no Drena | 1,05 - 0,95 | 0,95 -<br>0,75 | 0,75 -<br>0,40 | 0,40 |

#### **4.9.1 DISEÑO DE PAVIMENTO CON BASE DE ARCILLA**

##### **4.9.1.1 ARCILLA EN ESTADO NATURAL**

8.- **MODULO DE RESILENCIA.**- Capacidad de una material para recuperarse de una deformación



**CBR para suelo estado natural = 17,4%**

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| CBR < 10%       | MR = 1500*CBR           |
| 10% < CBR < 20% | MR = 3000 * CBR^(0,65)  |
| CBR > 20%       | MR = 4326 * ln CBR +241 |

\* TENIENDO UN CBR DE DISEÑO 17,4%

**MR = 3000 \* CBR^(0,65)**

MR = 3000 \* (17,4^(0,65))

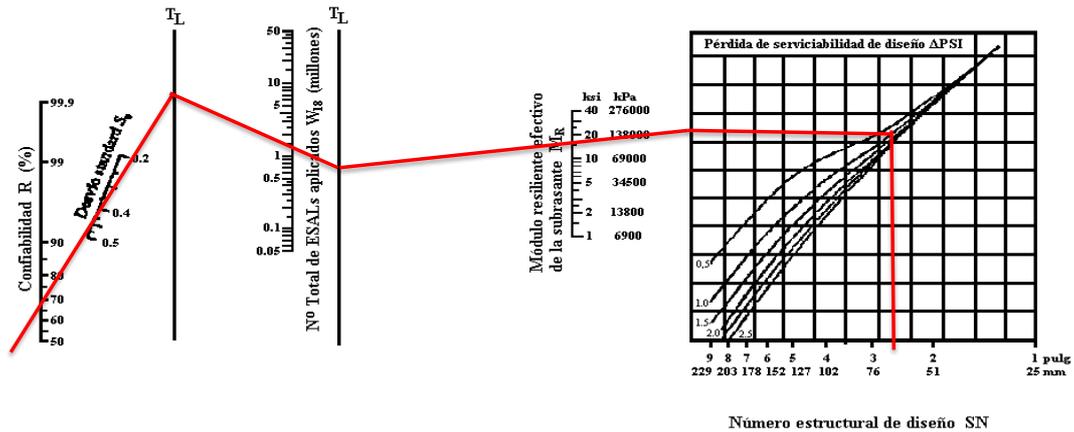
MR = 19.207,83 psi

\* **ΔPSI = Po - Pt**

1. ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o Terminal deseado.
2. p<sub>o</sub> = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).
3. p<sub>t</sub> = Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

**ΔPSI = 4,2 - 2 = 2,2**

9.- **NÚMERO ESTRUCTURAL.**- número que representa la resistencia del pavimento ante factores como CBR, W18 e índice de servicio.



$$N.E = 2,75$$

## 10.- DISEÑO DE PAVIMENTO.

a1= Se escogen valores en el rango 0,134 - 0,173

Para asfalto de estabilidad Marshall = 1500; el valor interpolado es 0,158.

a2= Para capa de base los valores se encuentran en el rango 0,028 – 0,051, según CBR entre 30% a 100%.

El CBR de diseño es 17,4% por lo que el valor es 0,015.

a3= El valor a utilizar fluctúa en el rango 0,035 – 0,043 para CBR mayor al 30%.

El CBR de diseño es 17,4% por lo que el valor es 0,019.

NOTA: Ecuador los períodos de precipitación son altos durante los meses de Enero hasta Abril o Mayo, por lo tanto el porcentaje de tiempo que el pavimento está sometido a humedad y agua es mayor o igual al 25%.

m2= calidad de drenaje buena en base, por lo que el valor es 1

m3= calidad de drenaje regular en sub-base, por lo que el valor que se toma es 0,80

$$NE= a1 * D1 + a2 * D2 * m2 + a3 * D3 * m3$$

$$2,75 = (0,158*D1) + (0,015*D2* 1) + (0,019*D3*0,8)$$

Se establecen valores de espesores en las diferentes capas, hasta que se acerque al valor del número de estructural.

Este no debe superar el 5% del Número Estructural.

\* Valores Mínimos

D1= 3,5 pulg ó 8,75 cm

D2= 6 pulg ó 15 cm

\* Valores Óptimos

D1= 12 cm

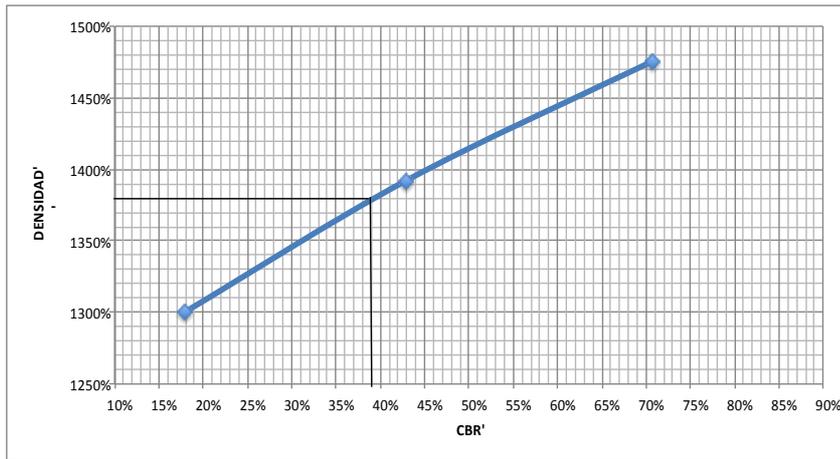
D2= 25 cm

D3= 32 cm

2,75 = 2,7574      NO SE EXCEDE EL 5% ( OK)

#### **4.9.1.2 ARCILLA MEJORADA CON 1,25% DE POLÍMERO.**

8.- **MODULO DE RESILENCIA.**- Capacidad de una material para recuperarse de una deformación



**CBR para suelo + (1,25%) de POLÍMERO = 39%**

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| CBR < 10%       | MR = 1500*CBR                     |
| 10% < CBR < 20% | MR = 3000 * CBR <sup>(0,65)</sup> |
| CBR > 20%       | MR = 4326 * ln CBR +241           |

\* TENIENDO UN CBR DE DISEÑO 39%

$$MR = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4326 * \ln(39) + 241$$

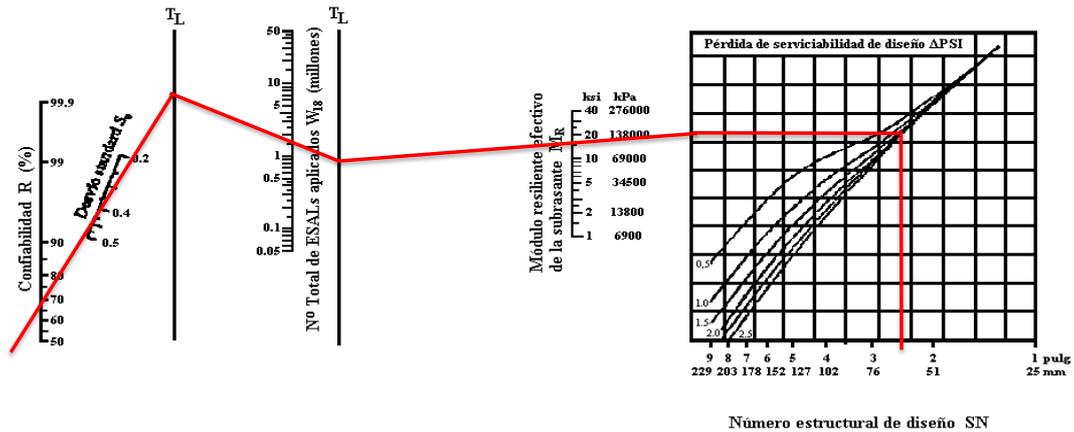
$$MR = 16.089,57 \text{ psi}$$

\*  **$\Delta PSI = P_o - P_t$**

1.  $\Delta PSI$  =Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o Terminal deseado.
2.  $p_o$  =Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).
3.  $p_t$  =Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

$$\Delta PSI = 4,2 - 2 = 2,2$$

9.- **NÚMERO ESTRUCTURAL.**- número que representa la resistencia del pavimento ante factores como CBR, W18 e índice de servicio.



N.E= 2,55

## 10.- DISEÑO DE PAVIMENTO.

a1= Se escogen valores en el rango 0,134 - 0,173

Para asfalto de estabilidad Marshall = 1500; el valor interpolado es 0,158.

a2= Para capa de base los valores se encuentran en el rango 0,028 – 0,051, según CBR entre 30% a 100%.

El CBR de diseño es 39% por lo que el valor es 0,031.

a3= El valor a utilizar fluctúa en el rango 0,035 – 0,043 para CBR mayor al 30%.

El CBR de diseño es 39% por lo que el valor es 0,036.

NOTA: Ecuador los períodos de precipitación son altos durante los meses de Enero hasta Abril o Mayo, por lo tanto el porcentaje de tiempo que el pavimento está sometido a humedad y agua es mayor o igual al 25%.

m2= calidad de drenaje buena en base, por lo que el valor es 1

m3= calidad de drenaje regular en sub-base, por lo que el valor que se toma es 0,80

$$NE = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

$$2,55 = (0,158 * D_1) + (0,031 * D_2 * 1) + (0,036 * D_3 * 0,8)$$

Se establecen valores de espesores en las diferentes capas, hasta que se acerque al valor del número de estructural.

Este no debe superar el 5% del Número Estructural.

\* Valores Mínimos

D1= 3,5 pulg ó 8,75 cm

D2= 6 pulg ó 15 cm

\* Valores Óptimos

D1= 9 cm

D2= 16 cm

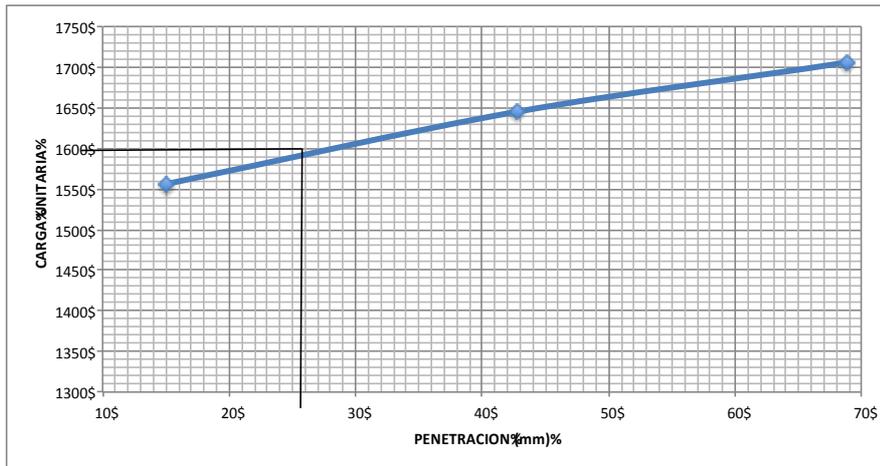
D3= 23 cm

2,55 = 2,63 NO SE EXCEDE EL 5% ( OK)

## **4.9.2 DISEÑO DE PAVIMENTO CON BASE DE GRAVA ARCILLOSA**

### **4.9.2.1 GRAVA ARCILLOSA EN ESTADO NATURAL.**

8.- **MODULO DE RESILENCIA.** - Capacidad de un material para recuperarse de una deformación



**CBR para suelo en estado natural= 25,7%**

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| CBR < 10%       | MR = 1500 * CBR                   |
| 10% < CBR < 20% | MR = 3000 * CBR <sup>(0,65)</sup> |
| CBR > 20%       | MR = 4326 * ln CBR + 241          |

\* TENIENDO UN CBR DE DISEÑO 25,7

$$MR = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4326 * \ln(25,7) + 241$$

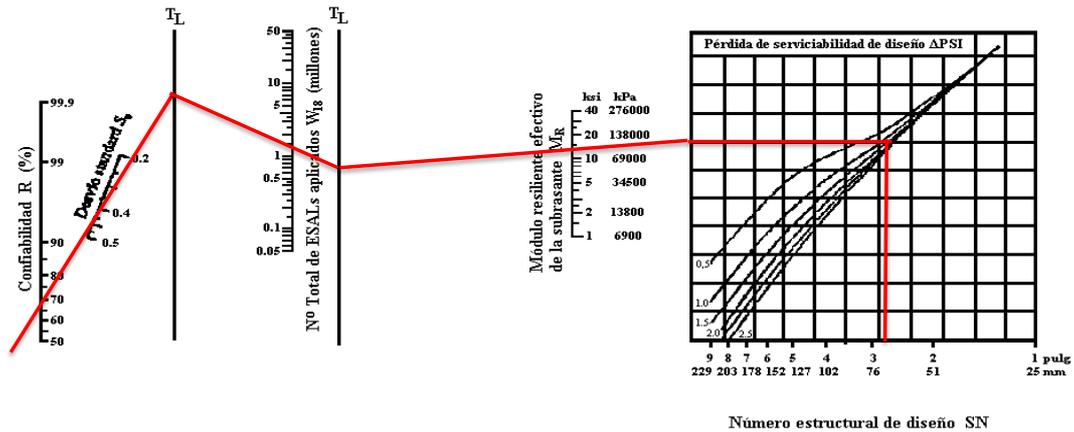
$$MR = 14.285,32 \text{ psi}$$

\*  $\Delta PSI = P_o - P_t$

1.  $\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o Terminal deseado.
2.  $p_o$  = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).
3.  $p_t$  = Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

$$\Delta PSI = 4,2 - 2 = 2,2$$

9.- **NÚMERO ESTRUCTURAL.** - número que representa la resistencia del pavimento ante factores como CBR, W18 e índice de servicio.



N.E= 2,85

## 10.- DISEÑO DE PAVIMENTO.

a1= Se escogen valores en el rango 0,134 - 0,173

Para asfalto de estabilidad Marshall = 1500; el valor interpolado es 0,158.

a2= Para capa de base los valores se encuentran en el rango 0,028 – 0,051, según CBR entre 30% a 100%.

El CBR de diseño es 25,7% por lo que el valor es 0,024

a3= El valor a utilizar fluctúa en el rango 0,035 – 0,043 para CBR mayor al 30%.

El CBR de diseño es 25,4% por lo que el valor es 0,030

NOTA: Ecuador los períodos de precipitación son altos durante los meses de Enero hasta Abril o Mayo,

por lo tanto el porcentaje de tiempo que el pavimento está sometido a humedad y agua es mayor o igual al 25%.

m2= calidad de drenaje buena en base, por lo que el valor es 1

m3= calidad de drenaje regular en sub-base, por lo que el valor que se toma es 0,80

$$NE = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

$$2,85 = (0,158 * D_1) + (0,024 * D_2 * 1) + (0,030 * D_3 * 0,8)$$

Se establecen valores de espesores en las diferentes capas, hasta que se acerque al valor del número de estructural.

Este no debe superar el 5% del Número Estructural.

\* Valores Mínimos

D1= 3,5 pulg ó 8,75 cm

D2= 6 pulg ó 15 cm

\* Valores Óptimos

D1= 11 cm

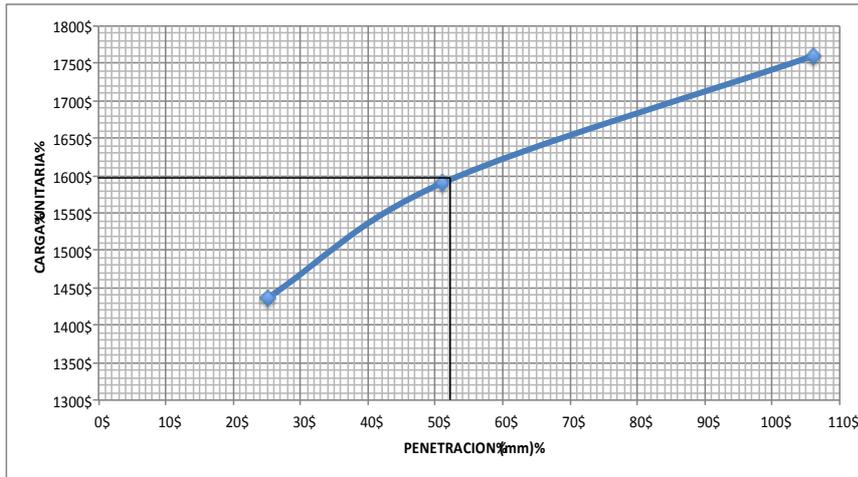
D2= 17 cm

D3= 30 cm

2,85 = 2,86 NO SE EXCEDE EL 5% ( OK)

#### **4.9.2.2 GRAVA ARCILLOSA MEJORADA CON 0,75% DE POLÍMERO.**

8.- **MODULO DE RESILENCIA.**- Capacidad de un material para recuperarse de una deformación



**CBR para suelo + (0,75%) de POLÍMERO = 52%**

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| CBR < 10%       | MR = 1500*CBR           |
| 10% < CBR < 20% | MR = 3000 * CBR^(0,65)  |
| CBR > 20%       | MR = 4326 * ln CBR +241 |

\* TENIENDO UN CBR DE DISEÑO 52%

$$MR = 4326 * \ln(CBR) + 241$$

$$MR = 4326 * \ln(52,7) + 241$$

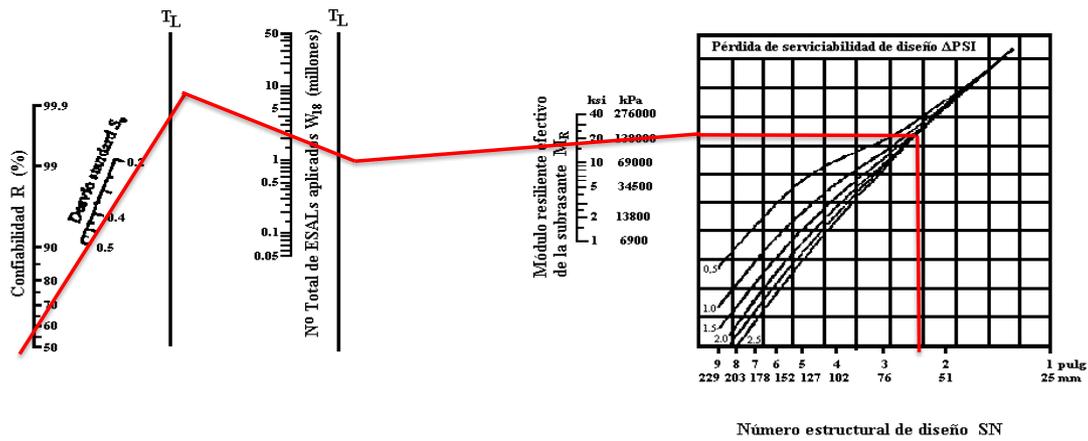
$$MR = 17.334,08 \text{ psi}$$

\*  **$\Delta PSI = P_o - P_t$**

1.  $\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o Terminal deseado.
2.  $p_o$  = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).
3.  $p_t$  = Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

$$\Delta PSI = 4,2 - 2 = 2,2$$

9.- **NÚMERO ESTRUCTURAL.**- número que representa la resistencia del pavimento ante factores como CBR, W18 e índice de servicio.



N.E= 2,40

## 10.- DISEÑO DE PAVIMENTO.

a1= Se escogen valores en el rango 0,134 - 0,173

Para asfalto de estabilidad Marshall = 1500; el valor interpolado es 0,158.

a2= Para capa de base los valores se encuentran en el rango 0,028 – 0,051, según CBR entre 30% a 100%.

El CBR de diseño es 17,4% por lo que el valor es 0,015.

a3= El valor a utilizar fluctúa en el rango 0,035 – 0,043 para CBR mayor al 30%.

El CBR de diseño es 17,4% por lo que el valor es 0,019.

NOTA: Ecuador los períodos de precipitación son altos durante los meses de Enero hasta Abril o Mayo, por lo tanto el porcentaje de tiempo que el pavimento está sometido a humedad y agua es mayor o igual al 25%.

m2= calidad de drenaje buena en base, por lo que el valor es 1

m3= calidad de drenaje regular en sub-base, por lo que el valor que se toma es 0,80

$$NE = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

$$2,4 = (0,158 * D_1) + (0,035 * D_2 * 1) + (0,037 * D_3 * 0,8)$$

Se establecen valores de espesores en las diferentes capas, hasta que se acerque al valor del número de estructural.

Este no debe superar el 5% del Número Estructural.

\* Valores Mínimos

D1= 3,5 pulg ó 8,75 cm

D2= 6 pulg ó 15 cm

\* Valores Óptimos

D1= 9 cm

D2= 15 cm

D3= 19 cm

2,4= 2,51 NO SE EXCEDE EL 5% ( OK)

#### 4.9.3 CUADRO COMPARATIVO DE DISEÑOS DE PAVIMENTO

| DISEÑO DE PAVIMENTOS |         |                    |         |
|----------------------|---------|--------------------|---------|
| ARCILLA (CL)         |         |                    |         |
| ESTADO NATURAL       |         | MEJORADA CON 2,25% |         |
| CAPA                 | ESPELOR | CAPA               | ESPELOR |
| ASFALTO              | 12 cm   | ASFALTO            | 9 cm    |
| BASE                 | 25 cm   | BASE               | 16 cm   |
| SUB-BASE             | 32 cm   | SUB-BASE           | 23 cm   |

| DISEÑO DE PAVIMENTOS |         |                    |         |
|----------------------|---------|--------------------|---------|
| GRAVA ARCILLOSA (GC) |         |                    |         |
| ESTADO NATURAL       |         | MEJORADA CON 0,75% |         |
| CAPA                 | ESPELOR | CAPA               | ESPELOR |
| ASFALTO              | 11 cm   | ASFALTO            | 9 cm    |
| BASE                 | 17 cm   | BASE               | 15 cm   |
| SUB-BASE             | 30 cm   | SUB-BASE           | 19 cm   |

#### 4.10 CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS

El propósito de este cuadro es demostrar cómo el uso del producto, reduce los costos en una vía, teniendo una arcilla de mala calidad mejorada y una grava arcillosa natural que es la que se utiliza comúnmente en Guayas. En los resúmenes de costos que se observarán, solo se consideran los materiales

y maquinarias que sean diferentes en el proceso constructivo, por tal razón, la compactación por ser un proceso que se realiza en ambos casos, ya no entra en esta resumen.

#### 4.10.1 COSTOS VIA DE 1 KM, PROCESO TRADICIONAL

APROXIMACION DE COSTOS PARA 1 KM DE VIA  
GRAVA ARCILLOSA

Asfalto 11cm  
 Capa estabilizar 17cm  
 Ancho de via 6m  
 Largo 1km.  
 Volumen de Suelo 1020 m<sup>3</sup> SIN COMPACTAR  
 1326 m<sup>3</sup> CONSIDERANDO 30% MÁS AL COMPACTAR.

MAQUINARIA Para 1326 m<sup>3</sup>

|            |             |                         |     |        |
|------------|-------------|-------------------------|-----|--------|
| VOLQUETA   | Rendimiento | 8 m <sup>3</sup>        | 166 | Fletes |
| Niveladora | Rendimiento | 12 m <sup>3</sup> /hora | 111 | horas  |

| RUBRO    | FLETES | PRECIO(\$) | TOTAL(\$) |
|----------|--------|------------|-----------|
| VOLQUETA | 166    | \$85       | \$14.110  |
|          |        |            | \$14.110  |

| RUBRO      | horas | PRECIO(\$) | TOTAL(\$) |
|------------|-------|------------|-----------|
| NIVELADORA | 111   | \$140      | \$15.540  |
|            |       |            | \$15.540  |

**COSTO DE PRECIOS PRELIMINARES.**  
 \$29.650,00

#### 4.10.2 COSTOS VIA DE 1 KM MEJORADA CON POLÍMEROS

##### Aplicación del Producto

##### Maquinarias.

- Motor Grader – Caterpillar 12 HP (Escarificadora)
- Compactadores Neumáticos ó Compactador Vibrador
- Camión Cisterna

- Discos de Remoción o Máquina Aradora de tierras.
- Monta Cargas ó Máquina de Bombeo

### **Procedimiento en Obra.**

1. Determinar en Laboratorio el porcentaje de producto necesario para la aplicación del producto en sitio
2. Con la ayuda del Motor Garder, escarificar el suelo para así dejarlo suelto y poder aplicar el producto.
3. Con el uso de la Máquina de Bombeo, colocar el Polímero dentro del camión cisterna.
4. Con el uso del camión cisterna rociar la cantidad de producto de Polímero M, teniendo en cuenta el volumen de tierra.
5. Con la máquina de arado o con los discos de Remoción, remover el suelo para que se produzca homogenización entre suelo y producto.
6. Compactar el suelo con el uso de los vibradores, con el uso de compactadores neumáticos o con rodillos.
7. Con el uso del camión cisterna rociar el Polímero L, mezclado con el agua para que cree una costra en la superficie del suelo.
8. Una vez pasadas 24 horas, en caso de ser necesario, se puede pintar el suelo para darle un acabado similar al asfalto.

APROXIMACION DE COSTOS PARA 1 KM DE VIA  
 SUELO BARRILLA MEJORADO CON 1,25% DE POLIMERO MBYD, 17% DE POLÍMERO L

Asfalto 9 cm  
 Capa estabilizar 16 cm  
 Ancho de Via 6 m  
 Largo 1 km.

Volumen de Suelo 960 m<sup>3</sup> SIN COMPACTAR  
 1248 m<sup>3</sup> CONSIDERANDO 30% MÁS AL COMPACTAR

**PRODUCTO**

POLÍMERO M \$1,20 litro  
 POLÍMERO L \$0,95 litro

\*\*\*\*\* CANTIDAD PARA 1248 m<sup>3</sup>

POLIMERO M 12,5 litros/m<sup>3</sup> 15.600 Litros  
 POLIMERO L 1,6 litros/m<sup>3</sup> 1.997 Litros

| RUBRO     | VOLUMEN (litros) | PRECIO (\$) | TOTAL (\$) |
|-----------|------------------|-------------|------------|
| CALYPSO M | 15.600           | \$1,20      | \$18.720   |
| CALYPSO L | 1.997            | \$0,95      | \$1.897    |
|           |                  |             | \$20.617   |

**MAQUINARIA**

ESCARIFICADORA Rendimiento 25 m<sup>3</sup>/hora Para 1248 m<sup>3</sup> 50 horas  
 CAMION CISTERNA Uso 2 días 16 horas

| RUBRO           | horas | PRECIO (\$) | TOTAL (\$) |
|-----------------|-------|-------------|------------|
| Escarificadora  | 50    | \$90,00     | \$4.500    |
| Camion Cisterna | 16    | \$60,00     | \$960      |
|                 |       |             | \$5.460    |

**COSTO DE PRECIOS PRELIMINARES.**  
 \$26.076,96

\* **RESUMIENDO:** Existe un ahorro de 12% con el uso de Polímero.

#### 4.11 CUADRO GENERAL DE ENSAYOS Y RESULTADOS

| SUELO           | (PASANTE #200) | WL | WP | IP | CLASIFICACION  | DENSIDAD SECA MAX.       | ESTADO                    | CBR    | (qu)                    | C. Asfáltica | C. Base |
|-----------------|----------------|----|----|----|----------------|--------------------------|---------------------------|--------|-------------------------|--------------|---------|
| ARCILLA         | 100%           | 47 | 20 | 27 | AASTHO (A-7)   | 1453 kg / m <sup>3</sup> | NATURAL                   | 17,40% | 23,4 Ton/m <sup>3</sup> | 12 cm        | 25 cm   |
|                 |                |    |    |    | SUCS (CL)      |                          | MEJORADA CON 1,42% POLIM. | 39%    | 58,5 Ton/m <sup>3</sup> | 9 cm         | 16 cm   |
| GRAVA ARCILLOSA | 20%            | 45 | 19 | 26 | AASTHO (A-2-7) | 1682 kg/m <sup>3</sup>   | NATURAL                   | 25,70% | 28,8 Ton/m <sup>3</sup> | 11 cm        | 17 cm   |
|                 |                |    |    |    | SUCS (GC)      |                          | MEJORADA CON 0,92% POLIM. | 52%    | 9,72 Ton/m <sup>3</sup> | 9 cm         | 15 cm   |

#### CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.

1.- Se logró estabilizar ambos suelos mediante el uso de los Polímeros L y M, tanto en el análisis de CBR y en la resistencia a compresión simple partiendo del estado natural.

2.- La aplicación del polímero no implica mayor costo ni uso de maquinarias no existentes en el país, basta con el uso de un escarificador, compactador neumático, maquinaria de arado, retro excavadora y camiones cisternas. Como se puede observar, son maquinarias que se utilizarían en la construcción de una vía de asfalto o cemento.

3.- En el caso de la arcilla, se cambió de una resistencia de CBR en estado natural de 17,44% hasta 39% utilizando el 1,25% de Polímero M y 0,17% de Polímero L (en relación a la masa de suelo), es decir se aumentó la resistencia en 224%.

4.- En el caso de la grava arcillosa, se partió de una resistencia de CBR en estado natural de 25,7 y se llegó a obtener una resistencia de 52% utilizando el 0,75% de Polímero M y 0,17% de Polímero L (en relación a la masa de suelo), es decir se aumentó la resistencia en 202%.

5.- Los modelos matemáticos para CBR demostraron que los porcentajes óptimos de productos son 0,90% para Grava Arcillosa y de 1,13% para Arcillas.

6.- En los ensayos de compresión simple en la arcilla, se obtuvieron resistencias al corte mayores con el uso de Polímero, pasando de una resistencia en estado natural de 2,3 kg/cm<sup>2</sup> a 5,3 kg/cm<sup>2</sup>, es decir se aumentó la resistencia en 230%.

También se mejoró la deformación del suelo, partiendo de una falla frágil en estado natural hasta obtener una falla de un material semi-plástico.

7.- En los ensayos de compresión simple, en la grava arcillosa se obtuvieron resistencias al corte mayores con el uso de Polímero, pasando de

una resistencia en estado natural de 2,8 kg/cm<sup>2</sup> a 9,7 kg/cm<sup>2</sup>, es decir se aumentó la resistencia en 346%.

También se mejoró la deformación del suelo, partiendo de un materia frágil en estado natural hasta obtener una falla de un material plástico.

8.- Los modelos matemáticos para resistencia a la compresión sin confinar ( $q_u$ ) demostraron que el contenido óptimo es del 1,25%, ya que a partir de allí, la proyección refleja que no existe incremento de resistencia significativo en relación a la cantidad de producto.

9.- En los diseños de pavimentos realizados con los valores máximos de CBR, se logró reducir los espesores de capa asfáltica, base y sub-base.

En arcillas se redujeron espesores en 30%.

En grava arcillosa se redujeron espesores en 25%.

10.- El proceso constructivo con el uso de Polímero, es mucho mas rápido, además se determinó que se puede ahorrar 12% en los costos por suelo en una vía, entre suelo mejorado con polímero y suelo importado de otro lugar.

## **CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES.**

1.- El uso del polímero no actúa de manera inmediata, por lo que según los ensayos realizados, una vez aplicado el producto deben dejarse pasar por lo menos 30 horas después de aplicado el producto para que el suelo adquiera su mayor resistencia.

2.- La aplicación del Polímero para superficie (L), se debe de rociar encima de la capa de acabado del suelo, en mezcla con agua y tener en

cuenta que no sea en horas de mayor temperatura, para evitar que el secado del producto sea rápido y no logre penetrar al suelo.

3.- En caso de requerir el producto como solución vial, es necesario realizar ensayos de laboratorios para obtener el porcentaje de producto según las necesidades, ya que el porcentaje que recomienda el fabricante no es precisamente el ideal para obtener la mayor resistencia. Cada suelo tendrá diferente comportamiento en contacto con el polímero.

4.- La proyección matemática nos refleja porcentajes de productos mayores, pero para consideraciones de diseño, se deberán realizar ensayos de laboratorios o tomar los valores reales de los ensayos hechos en este trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Global Soil Group. (2014). Calypso. *Solucion Alternativa de Pavimentos* .
2. Juarez, E., & Rico, A. (2005). *Mecanica de Suelos* (Vol. 1). Limusa: Noriega .
3. Luis, B. B. *Manual de carreteras* (Vol. 2). Mexico.
4. Tecno Terra. (2012). *Georadar y Polimeros*. From Inyección de Polímeros: <http://www.georadarypolimeros.com/polimeros.html>

5. Teresa López-Lara, J. B.-Z.-R.-M.-M. (05 de 2010). POLÍMEROS PARA LA ESTABILIZACIÓN VOLUMÉTRICA DE ARCILLAS EXPANSIVAS. *Revista Iberoamericana de Polimeros* .
6. Rico Rodríguez A, Del Castillo H. "Ingeniería de Suelos Aplicada a las Vías Terrestres". Volumen 2, Editorial Limusa, México, 1998
7. Martínez de las Marinas P. "Química y Física de los Altos Polímeros y Materias Plásticas". Editorial Alhambra; 1a edición, 1972
8. López Lara T "Reflexión y Análisis sobre el Tratamiento de Suelos con Diferentes Materiales". Curso Técnicas Modernas de Caracterización en la Ciencia y Tecnología de Suelos Arcillosos; U.A.Q.; Querétaro, México, 1998.
9. Terreros, C.; Moreno V. (1995). *Mecánica de Suelos, Laboratorio*
10. Terreros-Caicedo, C. (2014). *Mecánica de Suelos y asfalto y asfalto – Tecnología de ensayos*. Samborondón: UEES.
11. Rico, Alfonso. *La Ingeniería de suelos en las vías terrestres 2: Carreteras, ferrocarriles y autopistas*. México: Limusa, 2005.
12. Crespo, Carlos. *Mecánica de Suelos Y Cimentaciones*. 5ta Edición. México, 2004.
13. Tenreiro, Rafael. *Caminos Rurales*. 3era Edición. España, 2001.
14. Quintana, H. A. R., & Lizcano, F. A. R. (2007). Metodologías de diseño de pavimentos flexibles: tendencias, alcances y limitaciones. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 17(2), 41-65.
15. Sandoval, C. H. H., & Tecnológica de Colombia, U. P. T. C. (2007). *Mecánica de pavimentos: principios básicos*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

## ANEXOS.

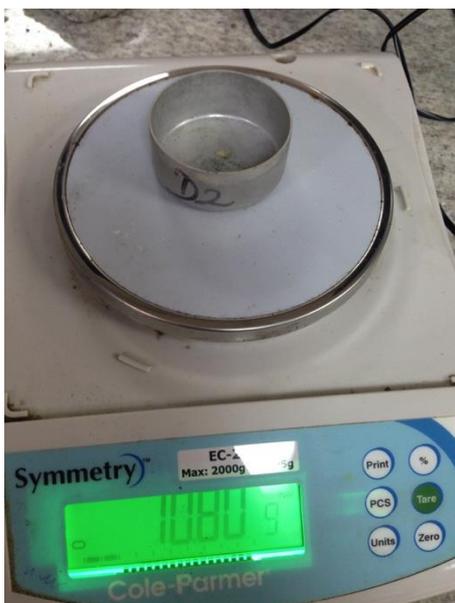


Fig. 1. Balanza digital y recipiente.

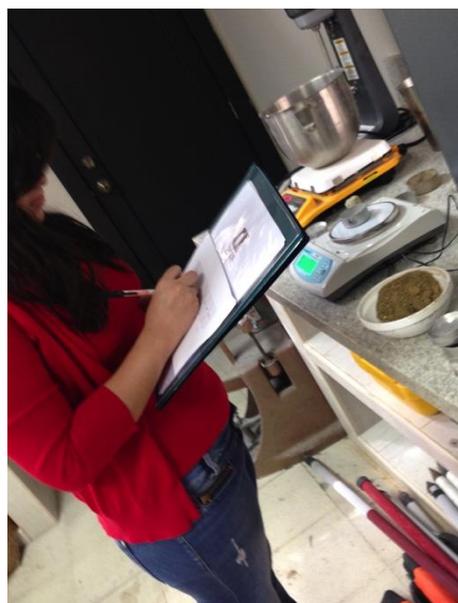


Fig. 2. Toma de peso de recipiente.



Fig.5. Colocación de la pasta en con Agua.  
Copa de Casagrande.



Fig. 3.  
Toma muestra  
Limites  
de  
Fig.4.  
Aument  
o de  
Humed  
ad del  
Suelo.

Consist  
encia.

Fig.6. Amasado del Suelo



Fig.7.  
Masa  
de  
Suelo

en Fig.8. Muestra Partida en la mitad para  
Copa de Casagrande. cálculo de numero de golpes.



Fig.9.  
Tamiza  
do para  
Ensayo  
s  
Proctor.  
Fig.10.  
Ensayo  
Proctor.

Fig.11. Enrazado para Volteo de Cilindro.

Fig.12. Desmontaje de Disco de Acero.





Fig.15. Colocación de Pistón CBR.

Fig.16. Muestra de Suelo Perforada.

Fig.13. Armado de Máquina CBR.  
Fig.14. Máquina para CBR (UEES).



Fig.17. Discos de 5 kg y Pistón CBR.



minar el peso.

Fig.1  
8.  
Mue  
stra  
de  
CBR  
y  
Bala  
nza  
para  
deter



Fig.19.  
Mezcla  
do de  
Suelo y  
Polímer  
o M.  
Fig.20.  
Muestra  
de  
Suelo  
con  
Polímer  
o M y L.



Fig.20. Muestras de Suelo con Polímero Perforadas.

Fig.21. Muestras de Grava Arcillosa y Polímero M.



Fig.22. Muestras de Grava Arcillosas y Polímero ya Perforadas.



Fig. 23. Máquina CB R (RU FFI LLI) .  
Fig. 24. Muestra de

Suelo siendo Perforada.

Fig.24 - 25. Máquina de Compresión Simple mas muestra de Suelo (UEES).



Fig.26 - 27. Máquina de Compresión Simple mas muestra de

Suelo (RUFFILLI).

