

**“ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA  
DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS”.**



**ALCIDES MANUEL HUETO GUERRERO**

**ANDRES FELIPE MONTOYA MANJARRES**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA DE INDIAS, D. T y C.**

**2016.**

**“ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA  
DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS”.**

**Línea de investigación**

Materiales de construcción

**Grupo de investigación**

GEOMAVIT

**Director de proyecto**

MODESTO BARRIOS FONTALVO

**Investigadores**

ALCIDES MANUEL HUETO GUERRERO

ANDRES FELIPE MONTOYA MANJARRES

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA DE INDIAS, D. T y C.**

**2017**

## CONTENIDO

|          |                                                     |    |
|----------|-----------------------------------------------------|----|
| I.       | RESUMEN .....                                       | 8  |
| II.      | ABSTRACT .....                                      | 10 |
| III.     | INTRODUCCION .....                                  | 11 |
| 1.       | MARCO DE REFERENCIA.....                            | 13 |
| 1.1.     | ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....                 | 13 |
| 1.2.     | MARCO TEORICO.....                                  | 18 |
| 1.2.1.   | Suelos.....                                         | 18 |
| 1.2.2.   | Determinación de las propiedades de los suelos..... | 18 |
| 1.2.3.   | Análisis mecánico del suelo.....                    | 19 |
| 1.2.3.1. | Análisis granulométrico.....                        | 19 |
| 1.2.3.2. | Límite líquido (LL).....                            | 20 |
| 1.2.3.3. | Límite plástico (PL).....                           | 21 |
| 1.2.4.   | Clasificación del suelo .....                       | 21 |
| 1.2.4.1. | Sistema de clasificación AASHTO .....               | 21 |
| 1.2.4.2. | Sistema unificado de clasificación de suelos.....   | 22 |
| 1.2.5.   | Compactación .....                                  | 24 |
| 1.2.5.1. | Prueba Proctor estándar .....                       | 25 |
| 1.2.5.2. | Prueba Proctor modificada .....                     | 26 |
| 1.2.5.3. | Ensayo CBR .....                                    | 26 |
| 1.2.6.   | Resistencia cortante del suelo .....                | 27 |
| 1.2.6.1. | Prueba de corte directo .....                       | 27 |
| 1.2.7.   | Geotextiles .....                                   | 28 |
| 1.2.7.1. | Geosintéticos .....                                 | 28 |
| 1.2.7.2. | Geotextiles.....                                    | 29 |
| 2.1.     | OBJETIVO GENERAL.....                               | 30 |
| 2.2.     | OBJETIVOS ESPECIFICOS.....                          | 30 |
| 3.       | ALCANCE .....                                       | 32 |
| 3.1.     | DELIMITACIÓN ESPACIAL .....                         | 32 |
| 3.2.     | DELIMITACIÓN TEMPORAL.....                          | 32 |
| 3.3.     | DELIMITACIÓN CONCEPTUAL .....                       | 32 |

|        |                                                                                                                                                    |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.   | DELIMITACIÓN REFERENTE A RESULTADOS Y OTROS .....                                                                                                  | 33 |
| 4.     | METODOLOGIA.....                                                                                                                                   | 34 |
| 4.1.   | RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y MUESTRAS.....                                                                                                         | 34 |
| 4.2.   | ENSAYOS DEL SUELO SIN REFUERZO .....                                                                                                               | 34 |
| 4.3.   | PREPARACIÓN DEL GEOTEXTIL.....                                                                                                                     | 35 |
| 4.4.   | ENSAYOS DEL MATERIAL DE RELLENO CON FIBRA DE GEOTEXTIL ..                                                                                          | 36 |
| 4.5.   | RECOLECCIÓN DE DATOS .....                                                                                                                         | 39 |
| 4.6.   | ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                                                                                                                       | 39 |
| 4.7.   | ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS .....                                                                                                                | 40 |
| 5.     | RESULTADOS Y DISCUSION .....                                                                                                                       | 41 |
| 5.1.   | RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN .....                                                                                                                  | 41 |
| 5.2.   | RESULTADOS DE COMPACTACIÓN .....                                                                                                                   | 43 |
| 5.2.1. | Resultado de compactación en material tipo arcilla .....                                                                                           | 43 |
| 5.2.2. | Resultado de compactación en material tipo zahorra .....                                                                                           | 44 |
| 4.2.3  | Resultado de compactación en material tipo arena.....                                                                                              | 45 |
| 4.3    | RESULTADOS DE CBR .....                                                                                                                            | 46 |
| 4.3.1  | Resultado de CBR en material tipo arcilla .....                                                                                                    | 47 |
| 4.3.2  | Resultado de CBR en material tipo Zahorra.....                                                                                                     | 49 |
| 4.3.3  | Resultado de CBR en material tipo arena.....                                                                                                       | 51 |
| 4.3    | RESULTADOS DE CORTE DIRECTO.....                                                                                                                   | 53 |
| 4.3.1  | Resultado de ensayo de corte directo en material tipo zahorra .....                                                                                | 53 |
| 4.3.2  | Resultado de ensayo de corte directo en material tipo Arcilla .....                                                                                | 55 |
| 4.4    | CALCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO.....                                                                                                             | 56 |
| 4.4.1  | Diseño de pavimento con subrasante tipo arcilla sin refuerzo .....                                                                                 | 58 |
| 4.4.2  | Diseño de pavimento con subrasante tipo arcilla con refuerzo óptimo de 14%<br>de geotextil.....                                                    | 60 |
| 4.4.3  | Comparación Económica entre el sistema constructivo tradicional y<br>mejorando la subrasante con fibra de geotextil en el material arcilloso. .... | 61 |
| 5      | CONCLUSIONES .....                                                                                                                                 | 63 |
| 6      | RECOMENDACIONES.....                                                                                                                               | 66 |
| 7      | BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                                                                 | 67 |

## LISTA DE GRAFICAS

|                  |                                                                     |    |
|------------------|---------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Grafica 1</b> | Variación de la densidad máxima seca en material tipo Arcilla.....  | 44 |
| <b>Grafica 2</b> | Variación de la densidad máxima seca en material tipo Zahorra ..... | 45 |
| <b>Grafica 3</b> | Variación de la densidad máxima seca en material tipo Arena .....   | 46 |
| <b>Grafica 4</b> | Variación del CBR en el material tipo Arcilla .....                 | 48 |
| <b>Grafica 5</b> | Variacion Densidad Máxima según CBR en Material Tipo Arcilla.....   | 48 |
| <b>Grafica 6</b> | Variación del CBR en el material tipo Zahorra .....                 | 50 |
| <b>Grafica 7</b> | Variación Densidad Máxima según CBR en Material Tipo Zahorra .....  | 50 |
| <b>Grafica 8</b> | Variación del CBR en el material tipo Arena .....                   | 52 |
| <b>Grafica 9</b> | Variación Densidad Máxima según CBR en Material Tipo Arena .....    | 52 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Análisis por medio de mallas.....                                                                                   | 19 |
| <b>Tabla 2.</b> Sistema unificado de clasificación; símbolos de grupo para suelos tipo grava .....                                  | 23 |
| <b>Tabla 3</b> Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos. ....                                     | 23 |
| <b>Tabla 4</b> Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos .....                         | 24 |
| <b>Tabla 5</b> Resumen clasificación de material tipo arcilla .....                                                                 | 41 |
| <b>Tabla 6</b> Resumen clasificación de material tipo Zahorra .....                                                                 | 41 |
| <b>Tabla 7</b> Resumen clasificación de material tipo Arena .....                                                                   | 42 |
| <b>Tabla 8</b> Resultado de proctor en material tipo Arcilla .....                                                                  | 43 |
| <b>Tabla 9</b> Resultado de proctor en material tipo Zahorra .....                                                                  | 44 |
| <b>Tabla 10</b> Resultado de proctor en material tipo Arena .....                                                                   | 45 |
| <b>Tabla 11</b> Resultado de CBR en material tipo Arcilla .....                                                                     | 47 |
| <b>Tabla 12</b> Resultados de Densidad Máxima seca En el CBR para El Material tipo Arcilla .                                        | 47 |
| <b>Tabla 13</b> Resultado de CBR en material tipo Zahorra.....                                                                      | 49 |
| <b>Tabla 14</b> Resultados de Densidad Máxima seca En el CBR para El Material tipo Zahorra                                          | 49 |
| <b>Tabla 15</b> Resultado de CBR en material tipo Arena.....                                                                        | 51 |
| <b>Tabla 16</b> Resultados de Densidad Máxima seca En el CBR para El Material tipo Arena ..                                         | 51 |
| <b>Tabla 17</b> Resultado del ensayo de corte directo en zahorra sin refuerzo.....                                                  | 53 |
| <b>Tabla 18</b> Resultado del ensayo de corte directo en zahorra con adición de 0.25% Geotextil .....                               | 53 |
| <b>Tabla 19</b> Resultado del ensayo de corte directo en zahorra con adición de 0.50% Geotextil .....                               | 54 |
| <b>Tabla 20</b> Resultado del ensayo de corte directo en zahorra con adición de 0.75% Geotextil .....                               | 54 |
| <b>Tabla 21</b> Resultado del ensayo de corte directo en arcillas sin refuerzo .....                                                | 55 |
| <b>Tabla 22</b> Resultado del ensayo de corte directo en arcilla con adición de 0.25% Geotextil                                     | 55 |
| <b>Tabla 23</b> Resultado del ensayo de corte directo en arcilla con adición de 0.50% Geotextil                                     | 56 |
| <b>Tabla 24</b> Resultado del ensayo de corte directo en arcilla con adición de 0.75% Geotextil                                     | 56 |
| <b>Tabla 25</b> Comparación económica entre el pavimento sin refuerzo de subrasante y con refuerzo de subrasante tipo arcilla ..... | 61 |

## LISTA DE IMAGENES

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Imagen 1</b> Proceso de preparación de la fibra de geotextil T2400.....                                                | 35 |
| <b>Imagen 2</b> Fibra de geo textil T2400 y recipiente con volumen conocido .....                                         | 36 |
| <b>Imagen 3</b> ensayos de laboratorio .....                                                                              | 37 |
| <b>Imagen 4</b> ensayos de laboratorio .....                                                                              | 38 |
| <b>Imagen 5</b> Ensayo de laboratorio .....                                                                               | 38 |
| <b>Imagen 6</b> ensayos de laboratorio .....                                                                              | 39 |
| <b>Imagen 7</b> Software para Diseño de pavimento según método AASHTO.....                                                | 57 |
| <b>Imagen 8</b> Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante .....                          | 58 |
| <b>Imagen 9</b> cálculo de espesor de losa para una subrasante arcillosa sin refuerzo de fibra de geotextil .....         | 59 |
| <b>Imagen 10</b> Sección Del Pavimento Rígido Sin Mejorar La Sub-Rasante Arcillosa.....                                   | 59 |
| <b>Imagen 11</b> cálculo de espesor de losa para una subrasante arcillosa con refuerzo óptimo de fibra de geotextil ..... | 60 |
| <b>Imagen 12</b> Sección Del Pavimento Rígido con refuerzo óptimo de fibra de geotextil a la subrasante arcillosa .....   | 61 |
| <b>Imagen 13</b> Análisis de precio unitario del mejoramiento de subrasante con 14% de geotextil T2400 .....              | 62 |

## I. RESUMEN

El trabajo de investigación el cual lleva como título; “**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**” tiene como objetivo principal analizar el comportamiento mecánico de diferentes tipos de materiales de relleno, mediante la adición de fibras de geotextil tejido T2400 a su macroestructura, para mejorar sus propiedades mecánicas, al ser usados como capas de relleno, con el fin de buscar nuevas alternativas constructivas que mejoren las propiedades mecánicas de diferentes materiales de relleno como arena, zahorra y Arcillas estas últimas para el mejoramiento de Subrasante, manteniendo una relación costo/beneficio óptima para la realización de distintas obras de ingeniería.

Realizar esta investigación le daría al área de la ingeniería un paso más en la búsqueda de nuevas tendencias constructivas que garanticen la optimización de las obras civiles. Además que permite determinar propiedades mecánicas con materiales amigables al ambiente.

En esta investigación se determinó un aumento de aproximadamente del 50% del CBR en los suelos arcillosos con la adición de 14% de fibra de geotextil T240, pero solo un 5% aproximadamente en el caso del material tipo zahorra. Por esta razón el presente proyecto contempla la necesidad de desarrollar e implementar otros proyectos de investigación que fomenten al avance sostenible y que permitan proponer mejoras en la satisfacción de las necesidades actuales, sin comprometer los recursos, aunque para este trabajo se pudo concluir que la adición de fibra de geotextil no es rentable en ninguno de los materiales que fueron objeto de estudios ya que el aumento en los CBR's es mínima y el aumento de la utilización de este material es muy alto.



Los beneficiarios de la ejecución de este proyecto serán las empresas dedicadas a proyectos de construcción de carreteras, y demás obras civiles, pues este estudio proporcionara más información sobre posibles métodos constructivos que ayuden a mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

## II. ABSTRACT

The research work which it carries as a title; "ADDITION OF TISSUE GEOTEXTIL T-2400 TO THE INTRINSECA STRUCTURE OF DIFFERENT TYPES OF FILLING MATERIALS" has as main objective to analyze the mechanical behavior of different types of filling materials, by adding fibers of T2400 woven geotextile to its macrostructure, to improve their mechanical properties, when used as filling layers, in order to search for new constructive alternatives that improve the mechanical properties of different filling materials such as sand, zahorra and Clays these as sub-rasante improvement, maintaining a relation cost / Optimum benefit for the realization of different engineering works.

Performing this research would give the engineering area a further step in the search for new constructive tendencies that guarantee the optimization of civil works. In addition it allows to determine mechanical properties with environmentally friendly materials. Likewise, this project contemplates the need to develop and implement other research projects that promote sustainable progress and that allow to propose improvements in the satisfaction of current needs, without compromising resources.

The beneficiaries of this project will be companies dedicated to road construction projects, and other civil works, as this study will provide more information on possible construction methods that help improve the mechanical properties of the soil.

### III. INTRODUCCION

El desarrollo de nuevas tendencias constructivas en proyectos de obras civiles y urbanismo se ha incrementado progresivamente en los últimos años, hecho que sumado a la globalización, los avances tecnológicos y la competitividad del mercado, han permitido el desarrollo sostenible de nuevas técnicas constructivas, mejoras en los equipos y la generación de nuevos materiales, que a la par de ofrecer mejor desempeño y altos estándares de calidad, permiten un mayor cumplimiento de las especificaciones, frente a los materiales tradicionales.

Uno de los nuevos materiales utilizados en el campo de la construcción, es el geotextil y los productos relacionados con este. Los geotextiles forman la familia de materiales permeables de los geosintéticos; deben tener una adecuada durabilidad, dependiendo del suelo y del agua en contacto con ellos (López, 2006). Las propiedades de los geotextiles se suelen clasificar en características generales, físico-mecánicas, hidráulicas y de durabilidad. En gran medida, estas propiedades son función de los polímeros empleados tales como polioleofinas, poliésteres y poliamidas y de su proceso de fabricación.

Los ensayos de laboratorio necesarios para cumplir con los objetivos se realizaron en los laboratorios de la Universidad de Cartagena que contó con todos los equipos para realizarlos.

Los geotextiles tejidos de refuerzo permiten incrementar la capacidad portante del suelo de soporte de una estructura de pavimento y/o relleno, disminuir los desplazamientos horizontales y verticales, así como los asentamientos diferenciales. El grado en el refuerzo de cimentaciones superficiales con geotextiles tejidos, se obtiene con un adecuado diseño del refuerzo.

En su sentido más amplio, el mejoramiento del suelo es la alteración de cualquier propiedad de un suelo para mejorar su rendimiento de ingeniería (PIRULLI, 2010). Los pavimentos, y otras labores civiles están diseñados para distribuir esfuerzos impuestos por el tráfico u otras condiciones, lo cual genera una influencia significativa en la elección, el grosor de la estructura y la forma en que está diseñado. Dependiendo del suelo y los proyectos de

diseño, es posible que las propiedades de la subrasante puedan mejorar, ya sea mecánicamente, químicamente, o ambos, para proporcionar una plataforma para la construcción de las capas posteriores y para proporcionar el apoyo adecuado durante su ciclo de vida (RUSSELL, 2010).

El presente documento tiene como finalidad determinar el comportamiento mecánico de los materiales de relleno tales como, arena, zahorra y en algunos casos arcilla, mediante la adición de fibras recortadas de geotextil tejido T-2400, involucradas en su macrotectura. De ésta forma se podrá establecer un porcentaje adecuado de fibra en cada caso, para lograr el mejoramiento de las características mecánicas del suelo, que se asimile al método tradicional de colocación, el cual consiste en conformar las capas de relleno y colocar el geo textil como manto sobre la superficie.

El trabajo investigativo está centrado en la realización de ensayos de laboratorio que permitan conocer las características de las muestras de los distintos tipos de materiales de relleno analizados después de la adición de fibras de geotextil en su macro estructura, lo anterior con la intención de buscar otros métodos constructivos que aumenten la capacidad portante de los materiales en mención y dependiendo del análisis que haga determinar si se traduciría en disminución de costos al utilizarlo.

El proyecto de investigación **“Adición de Geotextil Tejido T-2400 a la estructura intrínseca de diferentes tipos de materiales para rellenos”** está enmarcado en la línea de investigación de **Materiales de Construcción**, perteneciente al grupo **GEOMAVIT** de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena.

## **1. MARCO DE REFERENCIA**

### **1.1.ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

Para lograr analizar y comprender la evolución en el mercado nacional e internacional de los materiales utilizados para el mejoramientos de las propiedades de los suelos, se realizó una exhaustiva investigación en los medios que se tienen a la mano como trabajos de grados anteriores, libros de suelos y las bases de datos con las que cuenta de la Universidad de Cartagena, aunque se debe aclarar que se encontraron varios materiales para la estabilización de suelos pero se encontraron muy pocas investigaciones sobre la estabilización de estos adicionando fibras de geotextil a su macro textura, aunque si se encontraron investigaciones y normas enfocadas al sistema tradicional de construcción con geotextil.

En las Universidad Pontificia Bolivariana se realizó una investigación que tuvo como finalidad conocer el comportamiento que presentan los suelos finos luego de la adición de fibra de geotextil tejido T-2400, para esto se estudió el ángulo de fricción interna y la cohesión buscando mejorar estas condiciones, los autores trabajaron con una muestra de arcilla donada por la ladrillera Bautista Caceres, en bucaramanga. A esta muestra se le realizaron algunos ensayos de clasificación tales como granulometría, límite plástico y límite líquido para conocer las características del material, para lo cual el material resulto ser un suelo tipo arcilla de baja plasticidad (CL), también se hicieron ensayos de compactación tipo Proctor modificado para saber el porcentaje de humedad óptima del suelo. Después de obtener los resultados de los ensayos nombrados anteriormente, y conociendo las dimensiones y los porcentajes de fibra que se iban a utilizar, se realizaron los correspondientes ensayos de corte directo, para esto se hicieron 30 ensayos de corte directo para fibras de 1cm en proporciones de 0,25%, 0,50%, y 0,75% del peso total de la muestra, así mismo se hizo para fibras de longitud de 2cm y 3cm respectivamente, los resultados obtenidos por los autores observaron según sus conclusiones que con longitudes mayores o iguales a 3cm y con cualquier porcentaje de fibra usado, el ángulo de fricción

interna presenta una disminución comparado con los valores obtenidos en el suelo sin refuerzo y que el máximo valor obtenido para el ángulo de fricción interna es de  $43.6^\circ$  el cual se logró con un porcentaje de fibra de 0.26% del peso de la muestra y una longitud de 2cm a estos valores le corresponde una cohesión de 1.41 Kg/cm<sup>2</sup>. Esto indica que para los parámetros analizados se obtuvo un aumento en el ángulo de fricción de 36.7% y un aumento en la cohesión del 16.5% (TRIANA RODRIGUEZ & VILLAMIZAR DUARTE, 2010).

Otra investigación realizada en la misma universidad tuvo como objetivo analizar el comportamiento mecánico de una arena arcillosa al adicionarle fibra de geotextil tejido T-2400, con la intención de aumentar la resistencia al corte de estos tipos de suelos. De igual forma que la anterior investigación iniciaron con la consecución del material y su posterior caracterización, para lo cual se realizaron los siguientes ensayos: granulometría por mallas, límite líquido y límite plástico para su clasificación, la investigación demandó la realización del ensayo de límite de contracción para ver su cambio volumétrico y por último el ensayo de proctor modificado, para calcular su humedad óptima y densidad seca máxima. Por último continuaron con la determinación de los parámetros de resistencia al corte (ángulo de fricción y cohesión) por medio del ensayo de corte directo del suelo sin alteración y posteriormente con la fibra de geotextil tejido T-2400 en longitudes de 1cm, 2cm y 3 cm y en proporciones de 0.25%, 0.5% y 0.75% en peso de la muestra, trabajaron con la humedad óptima y compactada por medio del equipo de proctor modificado. Como conclusión obtuvieron que la longitud y proporción óptimas es de 2cm y 0.5% del peso del material, el ángulo de fricción interna aumento en un 30.4%, y la cohesión disminuyó en un 37.5% (MORENO CÁCERES & RAMÍREZ FORERO, 2010).

Otros investigadores han llevado a cabo investigaciones para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante el uso de diferentes tipos de materiales de desecho. Sus investigaciones incluyen, por ejemplo, los neumáticos de desecho, yeso, cal, residuos plásticos, polvo de horno de cemento, cenizas volantes, escoria de alto horno, polvo de piedra, residuos de alfombras recicladas, las tejas del techo de la fábrica de residuos y cenizas de lodos de aguas residuales (ALY AHMEDA, 2012).

Robert M. Koerner y George R. Koerner, en el año 2014 realizaron un estudio de algunos fracasos de filtro geotextil en condiciones de campo difíciles, en donde expusieron varios casos referentes a distintas condiciones de los suelos, utilizando diferentes tipos de geotextil; de lo cual infirieron que los suelos de grano fino no cohesivos generan problemas para estos filtros, debido a la capacidad de flujo con la retención en el suelo; esto es, por que en dicho estudio los suelos no cohesivos pasaron el tamiz # 100 (= 0,159 mm). Por otra parte los autores exponen que para suelos arcillosos son un problema en cuanto a la obstrucción excesiva que presentan, debido a que la arcilla dispersa por el cual las partículas individuales del suelo se convierten en fugitivos, esto generalmente resulta en exceso de la obstrucción de la tela en lugar de problemas de retención de suelo (KOERNER & KOERNER, 2015).

Danial Esmaili, Kianoosh Hatami, y Gerald A. Miller, en al año 2014, presentaron los resultados de una serie de pruebas sobre un material de refuerzo geotextil tejido de polipropileno (PP) en un suelo de calidad marginal. Un objetivo principal de estas pruebas fue desarrollar un factor de reducción de la humedad (MRF). Los resultados del estudio indicaron que el refuerzo y resistencia al arrancamiento disminuyeron significativamente como resultado de la pérdida en la succión matricial. Además concluyeron que la humedad de la interfase suelo-geotextil durante la construcción o la vida de servicio de una estructura de suelo reforzado puede reducir la fuerza y la resistencia al arrancamiento del refuerzo geotextil, que debe tenerse en cuenta en el diseño. Así mismo la metodología que implementaron puede ser utilizada para una gama más amplia de tipos de suelo y el refuerzo geotextil para aplicaciones prácticas (Esmaili, Harami, & Miller, 2014).

En el artículo “*Laboratory evaluation of the behavior of a geotextile reinforced clay*”, realizado por R. Noorzad, y SH Mirmoradi, en el año 2010 los autores encontraron que durante la realización de ensayos de compresión no confinada y triaxiales sobre arcillas no reforzadas y reforzadas a propiedades mecánicas del suelo mejoraban debido al aumento de la fuerza máxima a causa del geotextil, así también que la mejora de las propiedades mecánicas es proporcional al número de capas de geotextil (Noorzad & Mirmoradi, 2010).

Ángel José Francisco González Guerra, en el año 2014 en Guatemala, realizó un estudio sobre la determinación de la estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la

utilización de cal, ceniza volante, y suelo cohesivo donde la factibilidad del problema se llevó a cabo con varios ensayos de muestras diferentes. A razón de lo anterior pudo concluir que al estabilizar suelos plásticos con cal y ceniza volante, se genera una disminución de resistencia a corte, esto se debe a que el suelo pierde propiedades cohesivas (Guerra, 2014).

Ahmed en el año 2013, probó ocho mezclas arena de yeso utilizando esfuerzo Proctor estándar para evaluar el efecto del contenido de yeso de las características de compactación de suelo arenoso. Las mezclas tenían 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 65%, 80% y contenido de yeso en peso. Los resultados de las pruebas mostraron que a bajos contenidos de yeso (es decir, contenido de yeso que van desde cero a aproximadamente 30% en peso) hubo un ligero aumento en la densidad en seco máxima, asociada con una ligera disminución en el contenido de agua óptimo cuando el contenido de yeso aumentó hasta 15%. Por el contrario, cuando el contenido de yeso aumentó más de 30%, la densidad máxima seca empezó a disminuir notablemente, esto es asociada con un aumento claro en el contenido óptimo de agua. Ahmed (2013) atribuye este comportamiento a dos factores de influencia. El primer factor fue el papel de las partículas de yeso como un material de relleno de los huecos intergranulares de la matriz del suelo, mientras que el segundo factor fue la disminución en la gravedad específica global de la mezcla de suelo asociado con el aumento de contenido de yeso, ya que la gravedad específica del suelo arenoso utilizado es 2,65 mientras que es 2,33 para yeso (KUTTAHA & SATOB, 2015).

Subhi, en su tesis de doctorado, *“The properties of salt contaminated soils and their influence on the performance of roads in Iraq”*, estudió las características de compactación del suelo arcilloso de arena fangosa. Se encontró que la adición de yeso <63 micras de tamaño o de yeso partículas entre 250 y 355 micras tiende a disminuir la densidad máxima seca ( $\gamma_{dmax}$ ) y para incrementar el contenido de humedad óptimo (MAC) del suelo. En el caso de la adición de yeso en la fracción de tamaño entre 850 y 1000 micras una disminución tanto de la densidad en seco máxima y contenido de humedad óptimo se obtuvo. Este comportamiento de compactación se produce como resultado tanto de la gravedad específica y el tamaño de grano del yeso. La disminución de la densidad máxima



seca puede atribuirse a la pérdida de algo de energía de compactación en romper los enlaces que pueden formar entre las partículas de arcilla y yeso. Subhi señaló que la mezcla de yeso con la arcilla de arena fangosa puede implicar intercambio de catión. También puede producir la floculación y aglomeración de la tierra que va a disminuir el índice de plasticidad y por lo tanto debe disminuir el contenido de humedad óptimo, debido a la disminución en el área superficial debido al aumento de borde para hacer frente a los contactos de las partículas (Subhi, 1988).

En términos generales, se puede afirmar que estos materiales han revolucionado el diseño y construcción de obras civiles alrededor del mundo. Su importancia radica en que son eficientes en la solución en problemas tradicionales que involucran suelos naturales con dificultades (baja capacidad portante, agua libre, contaminación de suelos granulares con suelos finos de baja calidad, etc.). Se encontró que a nivel local y nacional la investigación de proyectos enfocados a encontrar materiales nuevos que ayuden el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo es muy baja, ya que este campo de la construcción ha estado encaminado a la caracterización de factores que determinen menores costos, rendimientos en obra y rendimientos de procesos de mano de obra. A nivel internacional la optimización de costos ha ido un paso adelante, la implementación de nuevos software que determinen las alternativas y las variables del diseño óptimo.

La siguiente propuesta de trabajo de grado difiere a los estudios previos en la medida que es una propuesta para el mejoramiento de diferentes tipos de materiales de relleno en donde se pretende analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas de dichos materiales mediante la adición de fibras de geotextil tejido T2400 a la estructura intrínseca del mismo, para casos de estudios con arena, zahorra y arcilla. Lo anterior teniendo en cuenta que se realizaran una serie de ensayos de las respectivas pruebas mecánicas de los distintos tipos de material ya mencionados previamente; esto es mediante los procesamientos y pruebas estandarizadas por la normativa legal vigente INVIMA y la NSR 10 .

## **1.2.MARCO TEORICO**

### **1.2.1. Suelos**

El suelo es definido como un agregado natural no cementado de granos minerales y materia orgánica en descomposición, con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas que lo constituyen. El ingeniero, compara al suelo como un material de construcción que tienen una importante influencia en el diseño y construcción de una obra de ingeniería (Das, 1999).

El suelo al igual que otros materiales posee propiedades ingenieriles, que están gobernadas por el tamaño de sus partículas y la forma en que estas interaccionan entre si. Los suelos por lo general, son materiales heterogéneos y anisotrópicos, por lo que no están compuestos de un mismo material en toda su masa, además son materiales no conservativos, es decir que la masa de suelo al deformarse no recupera su forma original.

Se puede decir que *el suelo* es el material más antiguo utilizado en las obras civiles (Hernandez, 2012) y se puede definir como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. El suelo se usa como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil.

### **1.2.2. Determinación de las propiedades de los suelos**

Para la determinación de las principales propiedades de los suelos se realizaron los siguientes ensayos: análisis granulométricos, límites de Atterberg, Proctor estándar y modificado, y la determinación de la capacidad portante mediante CBR, corte directo.

### 1.2.3. Análisis mecánico del suelo

#### 1.2.3.1. Análisis granulométrico

Este ensayo consiste en determinar las proporciones de los distintos tamaños de grano existentes en el mismo o su granulometría.

El análisis mecánico es la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total. Se usan generalmente dos métodos para encontrar la distribución del tamaño de las partículas del suelo: 1) análisis con cribado, para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm de diámetro, y 2) análisis hidrométrico, para tamaños de partículas menores de 0.075 mm de diámetro. Para este trabajo se realizó el análisis por cribado. Se muestra un ejemplo del mismo. **Tabla 1.**

*Tabla 1. Análisis por medio de mallas*

| Malla No.<br>(1) | Diámetro<br>(mm)<br>(2) | Masa de suelo<br>retenido en<br>cada malla<br>(g)<br>(3) | Porcentaje de suelo<br>retenido en<br>cada malla*<br>(4) | Por ciento<br>que pasa†<br>(5) |
|------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 10               | 2.000                   | 0                                                        | 0                                                        | 100.00                         |
| 16               | 1.180                   | 9.90                                                     | 2.20                                                     | 97.80                          |
| 30               | 0.600                   | 24.66                                                    | 5.48                                                     | 92.32                          |
| 40               | 0.425                   | 17.60                                                    | 3.91                                                     | 88.41                          |
| 60               | 0.250                   | 23.90                                                    | 5.31                                                     | 83.10                          |
| 100              | 0.150                   | 35.10                                                    | 7.80                                                     | 75.30                          |
| 200              | 0.075                   | 59.85                                                    | 13.30                                                    | 62.00                          |
| Pan              | —                       | 278.99                                                   | 62.00                                                    | 0                              |

\* Columna 4 = (columna 3) / (masa total de suelo) × 100

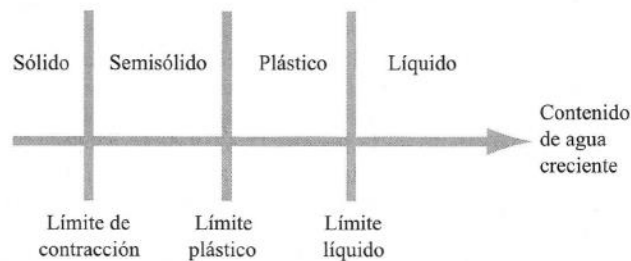
† A esto también se le llama *porcentaje que pasa*

**Fuente: Fundamento de ingeniería geotécnica, Braja M. Das.**

Cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, éste puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrolló un método para describir la consistencia de los

suelos de grano fino con contenidos de agua variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólido, semisólido, plástico y líquido, como muestra la **Ilustración 1**.

**Ilustración 1. Límites de Atterberg**



*Fuente. Fundamento de ingeniería geotécnica, Braja M. Das.*

El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el límite de contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos límites se conocen también como límites de Atterberg.

#### 1.2.3.2. Límite líquido (LL)

Para determinar el límite líquido se usa un dispositivo, que consiste en una copa de bronce y una base de hule duro. La copa de bronce se deja caer sobre la base por una leva operada por una manivela. Para la prueba del límite líquido se coloca una pasta en la copa. Se corta una ranura en el centro de la pasta de suelo, usando la herramienta de corte estándar. Luego, con la leva operada por la manivela, se levanta la copa y se deja caer desde una altura de 10 mm. El contenido de agua, en porcentaje requerido para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo del fondo de la ranura a los 25 golpes se define como el límite líquido. El procedimiento para la prueba del límite líquido está dado en la Prueba D-4318 de la ASTM.

### 1.2.3.3.Límite plástico (PL)

El límite plástico se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo. La prueba es simple y se lleva a cabo enrollando repetidamente a mano sobre una placa de vidrio una masa de suelo de forma elipsoidal. El procedimiento para la prueba del límite plástico se da en la prueba D-4318 de la ASTM

El índice de plasticidad (PI) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo, o  $PI = LL - PL$

### 1.2.4. Clasificación del suelo

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Éstos son el Sistema de Clasificación AASHTO y el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). El Sistema AASHTO se usa principalmente para proyectos de vías y carreteras, mientras que los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el Sistema Unificado.

#### 1.2.4.1.Sistema de clasificación AASHTO

El Sistema de Clasificación AASHTO fue uno de los métodos escogidos para determinar la clasificación de las muestras de suelo objeto de estudio del presente trabajo. Las generalidades de este método se muestran en la. De acuerdo con éste, el suelo se clasifica

en siete grupos mayores: A-1 hasta A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz No. 200. Los suelos que pasan más del 35% del tamiz No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla.

*Ilustración 2. Clasificación metodo AASHTO.*

| Clasificación general                                       | Materiales granulares<br>(35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)   |         |            |                                  |                         |         |         |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------|------------|----------------------------------|-------------------------|---------|---------|
|                                                             | A-1                                                                              |         |            | A-2                              |                         |         |         |
| Clasificación de grupo                                      | A-1-a                                                                            | A-1-b   | A-3        | A-2-4                            | A-2-5                   | A-2-6   | A-2-7   |
| Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)       |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| No. 10                                                      | 50 máx.                                                                          |         |            |                                  |                         |         |         |
| No. 40                                                      | 30 máx.                                                                          | 50 máx. | 51 mín.    |                                  |                         |         |         |
| No. 200                                                     | 15 máx.                                                                          | 25 máx. | 10 máx.    | 35 máx.                          | 35 máx.                 | 35 máx. | 35 máx. |
| Características de la fracción que pasa la malla No. 40     |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| Límite líquido                                              |                                                                                  |         |            | 40 máx.                          | 41 mín.                 | 40 máx. | 41 mín. |
| Índice de plasticidad                                       | 6 máx.                                                                           |         | NP         | 10 máx.                          | 10 máx.                 | 11 mín. | 11 mín. |
| Tipos usuales de materiales componentes significativos      |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
|                                                             | Fragmentos de piedra grava y arena                                               |         | Arena fina | Grava y arena limosa o arcillosa |                         |         |         |
| Tasa general de los subrasantes                             |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| De excelente a bueno                                        |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| Clasificación general                                       | Materiales limo-arcilla<br>(más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200) |         |            |                                  |                         |         |         |
|                                                             | A-4                                                                              |         | A-5        | A-6                              | A-7<br>A-7-5*<br>A-7-6† |         |         |
| Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)   |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| No. 10                                                      |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| No. 40                                                      |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| No. 200                                                     | 36 mín.                                                                          |         | 36 mín.    | 36 mín.                          | 36 mín.                 |         |         |
| Características de la fracción que pasa por la malla No. 40 |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| Límite líquido                                              | 40 máx.                                                                          |         | 41 mín.    | 40 máx.                          | 41 mín.                 |         |         |
| Índice de plasticidad                                       | 10 máx.                                                                          |         | 10 máx.    | 11 mín.                          | 11 mín.                 |         |         |
| Tipos usuales de materiales componentes significativos      |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
|                                                             | Suelos limosos                                                                   |         |            | Suelos arcillosos                |                         |         |         |
| Tasa general de los sobrantes                               |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| De mediano a pobre                                          |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| *Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$                              |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |
| †Para A-7-6, $PI > LL - 30$                                 |                                                                                  |         |            |                                  |                         |         |         |

*Fuente. Fundamento de ingeniería geotécnica, Braja M. Das.*

#### 1.2.4.2. Sistema unificado de clasificación de suelos.

El SUCS (Sistema Unificado de Clasificación), clasifica los suelos en dos amplias categorías: Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G-S. G significa grava o suelo gravoso **Tabla 2** y S significa arena o suelo arenoso **Tabla 3**.

**Tabla 2. Sistema unificado de clasificación; símbolos de grupo para suelos tipo grava**

| Símbolo de grupo | Criterios                                                                                                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GW               | Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3        |
| GP               | Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW                                                                             |
| GM               | Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4 |
| GC               | Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7     |
| GC-GM            | Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12                             |
| GW-GM            | El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM                                                     |
| GW-GC            | El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC                                                     |
| GP-GM            | El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM                                                     |
| GP-GC            | El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC                                                     |

**Fuente. Fundamento de ingeniería geotécnica, Braja M. Das.**

**Tabla 3 Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos.**

| Símbolo de grupo | Criterios                                                                                                                                      |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SW               | Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3        |
| SP               | Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW                                                                           |
| SM               | Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4 |
| SC               | Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7   |
| SC-SM            | Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12                           |
| SW-SM            | Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM                                                      |
| SW-SC            | Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC                                                      |
| SP-SM            | Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM                                                      |
| SP-SC            | Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC                                                      |

**Fuente. Fundamento de ingeniería geotécnica, Braja M. Das.**

Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos. **Tabla 4**

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

W: bien graduado

P: mal graduado

L: baja plasticidad (límite líquido menor que 50)

H: alta plasticidad (límite líquido mayor que 50)

**Tabla 4 Sistema Unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos.**

| Símbolo de grupo | Criterios                                                                                                               |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CL               | Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI > 7$ ; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la figura 2.12)            |
| ML               | Inorgánico; $LL < 50$ ; $PI < 4$ ; o se grafica debajo de la línea A (véase la zona ML en la figura 2.12)               |
| OL               | Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura 2.12)    |
| CH               | Inorgánico; $LL \geq 50$ ; $PI$ se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona CH en la figura 2.12)            |
| MH               | Inorgánico; $LL \geq 50$ ; $PI$ se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la figura 2.12)                    |
| OH               | Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$ ; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura 2.12) |
| CL-ML            | Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12                                                           |
| Pt               | Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos                                                                         |

*Fuente. Fundamento de ingeniería geotécnica, Braja M. Das.*

### 1.2.5. Compactación

En general, la compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso específico seco. Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua. Note que a un contenido de agua  $w = 0$ , el peso específico húmedo ( $\gamma$ ) es igual al peso específico seco ( $\gamma_d$ ). Cuando el contenido de agua es gradualmente incrementado y se usa el mismo esfuerzo compactador para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en un volumen unitario crece en forma gradual.



Más allá de un cierto contenido de agua  $w = w_2$ , cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama *contenido de agua óptimo*.

La prueba de laboratorio usada generalmente para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido de agua óptimo es la prueba *Proctor de compactación*.

#### 1.2.5.1. Prueba Proctor estándar

En la Prueba Proctor, el suelo es compactado en un molde que tiene un volumen de  $943.3 \text{ cm}^3$ . El diámetro del molde es de 101.6 mm. Durante la prueba de laboratorio, el molde se une a una placa de base en el fondo y a una extensión en la parte superior. El suelo se mezcla con cantidades variables de agua y luego se compacta en tres capas iguales por medio de un pisón que transmite 25 golpes a cada capa. El pisón pesa 24.4 N y tiene una altura de caída de 304.8 mm. Para cada prueba, el peso específico húmedo de compactación  $\gamma$  se calcula como:  $\gamma = \frac{W}{V_m}$

Donde:

$W$  = peso del suelo compactado en el molde

$V_{(m)}$  = volumen del molde (=  $943.3 \text{ cm}^3$ )

Para cada prueba, el contenido de agua del suelo compactado se determina en el laboratorio. Con un contenido de agua conocido, el peso específico seco  $\gamma_d$  se calcula con

la ecuación:  $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$

Donde  $w(\%)$  = porcentaje de contenido de agua.

Los valores de  $\gamma_d$  determinados con la ecuación se grafican contra los correspondientes contenidos de agua para obtener el peso específico seco máximo y el contenido de agua óptimo para el suelo. El procedimiento para la Prueba Proctor Estándar se da en la prueba D-698 de la ASTM y en la prueba T-99 de la AASHTO.

### 1.2.5.2. Prueba Proctor modificada

Con el desarrollo de rodillos pesados y su uso en la compactación de campo, la Prueba Proctor Estándar fue modificada para representar mejor las condiciones de campo. A ésta se le llama prueba Proctor modificada (Prueba D-1557 de la ASTM y Prueba T-180 de la AASHTO). Para llevar a cabo la prueba Proctor Modificada se usa el mismo molde, con un volumen de 943.3 cm<sup>3</sup>, como en el caso de la prueba Proctor estándar. Sin embargo, el suelo es compactado en cinco capas por un pisón que pesa 44.5 N. La caída del martillo es de 457.2 mm. El número de golpes de martillo por capa es de 25 como en el caso de la prueba Proctor estándar. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra n martillo usado para la prueba Proctor modificada. La energía de compactación por volumen unitario de suelo en la prueba modificada se calcula como:

$$E = \frac{(25 \text{ golpes/capa})(44.5 \times 10^{-3} \text{ kN})(0.4572 \text{ m})}{943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 2696 \text{ kN} - \text{m}/\text{m}^3 \quad (6).$$

Debido a que incrementa el esfuerzo de compactación, la prueba Proctor modificada resulta en un incremento del peso específico seco máximo del suelo. El incremento del peso específico seco máximo es acompañado por un decremento del contenido de agua óptimo.

### 1.2.5.3. Ensayo CBR

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para sub rasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Este procedimiento mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y luego de haber medido su hinchamiento.

La muestra se sumerge para poder prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción. Por ello, después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, se lo penetra con un pistón el cual está conectado a un pequeño "plotter" que genera una gráfica donde se representa la carga respecto a la profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro de la muestra.

La gráfica obtenida por lo general es una curva con el tramo inicial recto y el tramo final cóncavo hacia abajo; cuando el tramo inicial no es recto se le corrige.

Con la gráfica observamos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 mm y 5mm y los expresamos en tanto por ciento (%), tomando como índice CBR el mayor de los porcentajes calculados.

### **1.2.6. Resistencia cortante del suelo**

La resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él. Los ingenieros deben entender la naturaleza de la resistencia cortante para analizar los problemas de la estabilidad del suelo, tales como capacidad de carga, estabilidad de taludes y la presión lateral sobre estructuras de retención de tierras.

#### **1.2.6.1. Prueba de corte directo**

La prueba de corte es más antigua y simple. El equipo consiste en una caja de corte metálica en la que se coloca el espécimen, las muestras pueden ser cuadradas o circulares. El tamaño de los especímenes generalmente usados es aproximado de 20 a 25 cm<sup>2</sup> transversalmente y de 25 a 30 mm de altura. La caja está cortada horizontalmente en dos partes. La fuerza normal sobre el espécimen se aplica desde la parte superior de la caja de corte. El esfuerzo normal sobre los especímenes debe ser tan grande como 1000 kN/m<sup>2</sup>. La fuerza cortante es aplicada moviendo una mitad de la caja respecto de la otra para generar la falla en el espécimen de suelo.

Dependiendo del equipo, la prueba de corte puede ser controlada por el esfuerzo o por la deformación unitaria. En las pruebas controladas por el esfuerzo, la fuerza cortante es aplicada en incrementos iguales hasta que el espécimen falla, lo cual tiene lugar a lo largo del plano de separación de la caja de corte. Después de la aplicación de cada incremento de carga, el desplazamiento cortante de la mitad superior de la caja se mide por medio de un micrómetro horizontal. El cambio en la altura del espécimen (y por tanto el cambio de su volumen) durante la prueba se obtiene a partir de las lecturas del micrómetro que mide el movimiento vertical de la placa superior de carga.

En pruebas controladas por la deformación unitaria se aplica una razón constante de desplazamiento cortante a una mitad de la caja por medio de un motor que actúa a través de engranes. La tasa constante de desplazamiento cortante se mide con un micrómetro horizontal. La fuerza cortante resistente del suelo correspondiente a cualquier desplazamiento cortante se mide por medio de un anillo de ensayo horizontal o con una celda de carga. El cambio de volumen durante la prueba se obtiene de manera similar a las pruebas controladas por el esfuerzo (DAS, 2001).

### **1.2.7. Geotextiles**

#### 1.2.7.1. Geosintéticos

Es un producto en el que uno de sus componentes es a base de polímeros o natural, en la mayoría de los casos se presenta en forma de filtro, lámina o estructura tridimensional y que es principalmente usada en contacto con el suelo dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Los geosintéticos tienen varios campos de aplicación en la construcción como las obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión entre otras.

### 1.2.7.2. Geotextiles

Se define como un material textil plano, permeable polimérico que puede ser tejido o tricotado y no tejido, que se utiliza en contacto con el suelo para aplicaciones geotécnicas. El tipo de geotextil usado en este trabajo de investigación; es el geotextil tejido T-2400, cuya ficha técnica se muestra en la **Ilustración 3**, es un geotextil Tejido de polipropileno, conformado por un sistema de cintas planas, tejidas entre sí. Es altamente resistente a la degradación biológica y química, que normalmente se encuentra en los suelos. Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación son obtenidos en Laboratorio de Control de Calidad de la empresa fabricante

*Ilustración 3. Ficha técnica Geotextil Tejido T-2400.*

| T2400<br>Especificación Internacional |                                      |            |                      |                           |
|---------------------------------------|--------------------------------------|------------|----------------------|---------------------------|
|                                       | PROPIEDAD                            | NORMA      | UNIDAD               | VALOR TÍPICO <sup>2</sup> |
| MECANICAS                             | Método grab                          |            |                      |                           |
|                                       | Resistencia a la tensión             | ASTM D4632 | N (lb)               | 1519 (340)                |
|                                       | Elongación                           |            | %                    | 17                        |
|                                       | Método tira ancha                    |            |                      |                           |
|                                       | Sentido longitudinal                 | ASTM D4595 | kN/m                 | 42                        |
|                                       | Elongación                           |            | %                    | 21                        |
|                                       | Sentido transversal                  |            | kN/m                 | 43                        |
|                                       | elongación                           |            | %                    | 15                        |
|                                       | Resistencia al punzonamiento         | ASTM D4833 | N (lb)               | 680 (153)                 |
|                                       | Resistencia al punzonamiento CBR     | ASTM D6241 | kN                   | 5.5                       |
| HIDRAULICAS                           | Resistencia al rasgado trapezoidal   | ASTM D4533 | N (lb)               | 520(117)                  |
|                                       | Método Mullen Burst                  |            |                      |                           |
|                                       | Resistencia al estallido             | ASTM D3786 | Kpa (psi)            | 4653 (675)                |
|                                       | Tamaño de abertura aparente          | ASTM D4751 | mm(NoTamiz)          | 0.425(40)                 |
| FISICAS                               | Permeabilidad                        | ASTM D4491 | cm/s                 | 5.3x10 <sup>-2</sup>      |
|                                       | Permitividad                         | ASTM D4491 | s <sup>-1</sup>      | 0.55                      |
|                                       | Tasa de flujo                        | ASTM D4499 | L/min/m <sup>2</sup> | 1506                      |
|                                       | Espesor                              | ASTM D5199 | mm                   | 1.0                       |
|                                       | Resistencia UV (% retenido @ 500 hr) | ASTM D4355 | %                    | >70                       |
|                                       | Rollo Ancho                          | Medido     | m                    | 3.85                      |
|                                       | Longitud                             | Medido     | m                    | 120                       |
|                                       | Rollo Area                           | Calculado  | m <sup>2</sup>       | 462                       |

Fuente. <https://pavco.com.co/?dw=3560ca8303417cefc1b0e5a2b903a92p2t20> .

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.OBJETIVO GENERAL**

Analizar el comportamiento mecánico de diferentes tipos de materiales de relleno, mediante la adición de fibras de geotextil tejido T2400 a su macro-estructura, para mejorar sus propiedades mecánicas, al ser usados en capas de relleno.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar ensayos para determinar la caracterización del comportamiento de cada uno de los materiales.
- Analizar la incidencia del geotextil tejido T2400 en el cálculo de la capacidad portante de los suelos arcillosos.
- Establecer si hay alguna variación en la cohesión y los ángulos de fricción interna en los materiales de relleno tipo arcilla antes y después de la adición de fibras de geotextil tejido T2400
- Determinar el porcentaje óptimo de geotextil tejido T-2400 que produzca el mejoramiento de las propiedades mecánicas de cada material.
- Determinar la variación en los espesores de las factibles capas de relleno para un pavimento, usando los parámetros obtenidos con la adición de las fibras de geotextil.
- Realizar una comparación económica entre el sistema constructivo tradicional del pavimento con geotextil y el sistema propuesto en el actual trabajo.

- Realizar un análisis de precios unitarios para la elaboración de un metro cubico extendido y compactado en obra de acuerdo al método constructivo y los espesores obtenidos en cada caso

### **3. ALCANCE**

#### **3.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL**

Esta investigación se realizó en distintas zonas de la ciudad de Cartagena, las cuáles fueron escogidas por representar en gran parte los tipos de suelos y/o materiales objetos de estudio. Los ensayos se realizarán en las instalaciones de la Universidad de Cartagena en el Campus Piedra de Bolívar, ubicada en la Ciudad de Cartagena de Indias (Colombia) con coordenadas geográficas 10°24'06.3"N, 75°30'19.6"W y a una altura de 35 metros con respecto al nivel del mar.

#### **3.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL**

El proyecto se realizó en dieciséis (16) semanas, su entrega se hizo el mes de diciembre de 2016.

#### **3.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL**

En el presente trabajo de grado analizó la variación de las propiedades mecánicas de materiales de relleno: Arena, Zahorra y Arcilla, después de la adición de fibras de geotextil tejido T2400.

Los ensayos se fundamentan en condiciones locales tales como geomorfología de las zonas y del suelo que la conforman (Ciudad de Cartagena de Indias), en la que se hará la adición del geotextil tejido T2400.

La finalidad del presente trabajo fue analizar la forma de como la adición de geotextil afecta las propiedades intrínsecas de los materiales de relleno, de acuerdo a porcentajes escogidos como representativos para la evaluación y determinación de las propiedades mecánicas de los suelos. Esto se efectuara empleando equipos de laboratorio, apoyados en las teorías de suelos, para así garantizar el cumplimiento de los objetivos propuestos, se



deja establecido que en esta investigación no se compararon los costos del método utilizado con otro tipo de método constructivo pero si se darán estimaciones y referentes que ayuden a futuras investigaciones enfocadas a esta línea de investigación.

Como producto de la investigación se realizó un cuadro comparativo de las propiedades mecánicas y de los costos de los materiales de relleno sin ninguna modificación en su macro estructura y los materiales con mejor desempeño después de la adición de la fibra de geotextil.

### **3.4. DELIMITACIÓN REFERENTE A RESULTADOS Y OTROS**

Se busca que los resultados de los ensayos obtenidos puedan contribuir a nuevos usos de los geo textiles, específicamente el geo textil tejido T2400 y su interacción con el suelo. Los resultados serán comparados con la información secundaria encontrada referente a estudios realizados a nivel nacional e internacional, teniendo en cuenta las zonas y regiones en los que estos fueron desarrollados y de las condiciones locales de cada una de estas.

Como producto final se entregara una tabla en la cual se compararan los resultados de las distintas proporciones de geo textil tejido T2400 obtenidas en el laboratorio y un cuadro de costos que de un estimado en el precio en la aplicación de este nuevo material.

Se espera que el estudio aporte un fundamento teórico-práctico de la adición de geo textiles al suelo propiamente dicho o en forma de rellenos; las zonas de estudio escogidas se encuentran en la Ciudad de Cartagena, según las condiciones locales, para que a su vez los resultados puedan servir de base a investigaciones futuras, que contemplen la incorporación de estas y otras tecnologías en la ciudad, en las que puedan tener en cuenta parámetros, esquemas, ideas y resultados plasmados en el presente.

## **4. METODOLOGIA**

La investigación constó de dos etapas: Una etapa cualitativa y otra cuantitativa. La primera consistió en la recolección de datos y muestras para su posterior análisis e interpretación dicha documentación tomó como referencia las Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC) y la segunda consistió en la ejecución de los ensayos de laboratorio según las Normas INVIAS.

### **4.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y MUESTRAS.**

En esta etapa se realizó una revisión bibliográfica sobre las investigaciones previas sobre esta temática, las recomendaciones y su metodología, para así poder realizar los ensayos realmente necesarios y que se llevaron a cabo como los son granulometría, límite líquido, límite plástico, proctor, CBR y corte directo, este último solo para los materiales arcillosos.

El material tipo zahorra fue donada y provino de la cantera de palmarito, La muestra de Arcilla Arenosa Amarillenta se extrajo por medios mecánicos de los suelos de los predios de la universidad de Cartagena, sede piedra de bolívar y el material tipo Arena fue donada y provino de la cantera de Rotinet. Para la escogencia de los materiales se tuvo en cuenta las recomendaciones de nuestro director de tesis.

### **4.2. ENSAYOS DEL SUELO SIN REFUERZO**

Luego de la recolección de los distintos suelos, se procedió hacer su respectiva clasificación y caracterización, para ello se realizaron los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico requeridos, en base al Sistema Unificado de clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y la AASHTO.

Se realizaron, además, ensayos de proctor, CBR a todos los materiales de relleno y ensayo de corte directo para los materiales arcillosos, para calcular parámetros de diseño como la humedad óptima, densidad específica seca máxima y la capacidad portante; la cohesión y el

ángulo de fricción interna en el caso de las arcillas, parámetros fundamentales para diseños de vías. Esto permitió conocer las características físicas de los materiales y verificar si existía alguna variación con la adición de fibra de geotextil.

### 4.3. PREPARACIÓN DEL GEOTEXTIL

Para realizar los ensayos al suelo con la adición de fibra de geotextil, se procedió a preparar las fibras de geotextil T-2400 en longitudes entre 2cm a 10cm y se separaron en los porcentajes requeridos, La preparación del geotextil se llevó a cabo por medios manuales (tijeras), por esta razón es que las longitudes varían tanto. Para el ensayo de corte directo se tomaron fibras de longitudes de 1 cm a 2 cm.



*Imagen 1 Proceso de preparación de la fibra de geotextil T2400*

*Fuente: Autores*

#### 4.4. ENSAYOS DEL MATERIAL DE RELLENO CON FIBRA DE GEOTEXTIL

Luego de la preparación del geotextil se procedió a determinar los volúmenes de adición de las fibras para ello se utilizó un recipiente con volumen conocido, ver **Imagen 2**, el cual representa un porcentaje del 7% con respecto al molde del ensayo Proctor. Para facilitar las mediciones se determinaron los porcentajes en múltiplos de este, es decir, 7%, 14% y 21% de adición. En el caso del corte directo los porcentajes fueron tomados respecto a su peso ya que el volumen del molde para esta prueba es menor y, al utilizar los porcentajes anteriores dentro del molde la cantidad de material era excesiva, por esta razón se usaron adiciones de 0,25%, 0,50% y 0,75 en relación a su peso así y, en longitudes de 1 a 2 cms.

Al tener la cantidad de fibra de geotextil separadas en los porcentajes mencionados anteriormente se procedió a realizarse la mezcla con los respectivos materiales según la cantidad estipulada en la norma para cada ensayo, para medir la cantidad de fibra se tomó un recipiente de volumen conocido. Se realizaron los ensayos de laboratorios siguientes; granulometría, Limite Líquido, Limite plástico, corte directo, Proctor y CBR.



*Imagen 2 Fibra de geo textil T2400 y recipiente con volumen conocido*

*Fuente: Autores*





*Imagen 3 ensayos de laboratorio*

**Fuente: Autores**



*Imagen 4 ensayos de laboratorio*

**Fuente: Autores**



*Imagen 5 Ensayo de laboratorio*

**Fuente: Autores**

#### 4.5. RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos se hizo al tiempo con la ejecución de los ensayos, para su posterior tabulación e interpretación. Se realizaron 3 ensayos de corte directo por muestra lo que da un total de 24 ensayos de corte directo, se realizaron un ensayo de granulometría, límite líquido y límite plástico para la muestra de 0% para un total de 4 de cada uno de estos ensayos. Se realizó un proctor por cada muestra y por cada de adición de fibra de geotextil para un total de 12 proctor, se realizó un CBR por muestra y por porcentaje para un total de 12 ensayos de CBR.



*Imagen 6 ensayos de laboratorio*

*Fuente: Autores*

#### 4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los datos obtenidos en los diferentes ensayos, tanto del material sin fibra de geo textil, como los materiales con fibra, se analizaron los parámetros de densidad, la correlación de CBR con la capacidad portante, el ángulo de fricción interna y cohesión para los materiales arcilloso. Posterior a esto se hizo una comparación entre los resultados del suelo natural y el suelo reforzado, para verificar la eficiencia de la fibra de geotextil T-2400 y poder encontrar el porcentaje óptimo de fibra que logró el mejor aumento de capacidad portante y del ángulo de fricción interna para los materiales arcillosos. Teniendo este resultado se

realizó una comparación en un diseño de pavimento rígido y su costo con el material sin fibra y el material con fibra con el porcentaje óptimo y así poder emitir un concepto de la rentabilidad de usar este método para las obras civiles.

#### **4.7. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Se realizó un análisis de precio unitario al metro cúbico (m<sup>3</sup>) de material compactado sin adición de fibra y con la adición de fibra con el porcentaje de mejor comportamiento, además se realizaron los APU's de un (1) metro cuadrado de pavimento rígido según los diseños realizados con los materiales de relleno utilizados sin refuerzo y a los materiales que mostraron mejor comportamiento después de la adición de la fibra con el fin de realizar un análisis comparativo entre el sistema constructivo de pavimento tradicional con geotextil y el implementado en esta investigación.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN

Luego de la realización de los ensayos de clasificación de suelo estos fueron los resultados:

*Tabla 5 Resumen clasificación de material tipo arcilla*

|                                      |                                        |                      |                  |
|--------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|------------------|
| <b>UBICACIÓN MATERIAL :</b>          | UNIVERSIDAD DE CARTAGENA-CAMPUS PIEDRA | <b>MUESTRA No</b>    | 1                |
| <b>LIMITE LIQUIDO:</b>               | <b>63.5</b>                            | <b>CLASIFICACION</b> |                  |
| <b>LIMITE PLASTICO:</b>              | <b>29.6</b>                            | <b>ASSTHO</b>        | <b>A - 7 - 6</b> |
| <b>INDICE PLASTICO:</b>              | <b>33.9</b>                            |                      |                  |
| <b>PORCEMTAJE QUE PASA TAMIZ 200</b> | <b>91.82</b>                           | <b>USC</b>           | <b>CH</b>        |
| <b>DESCRIPCION DEL MATERIAL</b>      | ARCILLA PARDA CON VETAS AMARILLAS      |                      |                  |

*Fuente: Autores*

El material de relleno tomado de los predios ubicados en la universidad de Cartagena, sede Piedra de Bolívar, obtuvo los valores de limite líquido, limite plástico y porcentaje que pasa el tamiz 200 que se aprecian en la **Tabla 5**, los cuales lo caracterizan como una arcilla de alta plasticidad según el sistema unificado y en un suelo tipo A-7-6 según la ASSTHO. Con estos resultados y una descripción visual podemos afirmar que la muestra es una *Arcilla Parda Con Vetas Amarillas, De Alta Plasticidad*.

*Tabla 6 Resumen clasificación de material tipo Zahorra*

|                                      |                     |                      |                  |
|--------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| <b>UBICACIÓN MATERIAL :</b>          | CANTERA -TURBACO-   | <b>MUESTRA No</b>    | 2                |
| <b>LIMITE LIQUIDO:</b>               | <b>29.7</b>         | <b>CLASIFICACION</b> |                  |
| <b>LIMITE PLASTICO:</b>              | <b>20.6</b>         | <b>ASSTHO</b>        | <b>A - 2 - 7</b> |
| <b>INDICE PLASTICO:</b>              | <b>9.1</b>          |                      |                  |
| <b>PORCEMTAJE QUE PASA TAMIZ 200</b> | <b>23.90</b>        | <b>USC</b>           | <b>SC</b>        |
| <b>DESCRIPCION DEL MATERIAL</b>      | ZAHORRA AMARILLENTO |                      |                  |

*Fuente: Autores*

El material de relleno tipo zahorra proveniente de la cantera de Turbaco obtuvo los valores de límite líquido, límite plástico y porcentaje que pasa el tamiz 200 que se aprecian en la **Tabla 6**, los cuales lo caracterizan como una Arena Arcillosa según el sistema unificado y en un suelo tipo A-2-7 según la ASSTHO. Con estos resultados y una descripción visual podemos afirmar que la muestra es una *Zahorra Amarillenta con Contenido de Grava*.

*Tabla 7 Resumen clasificación de material tipo Arena*

|                                       |                         |                      |              |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|
| <b>UBICACIÓN MATERIAL :</b>           | ROTINET -ARROYO PIEDRA- | <b>MUESTRA No</b>    | 3            |
| <b>LIMITE LIQUIDO:</b>                | <b>NP</b>               | <b>CLASIFICACION</b> |              |
| <b>LIMITE PLASTICO:</b>               | <b>NP</b>               | <b>ASSTHO</b>        | <b>S - 3</b> |
| <b>INDICE PLASTICO:</b>               | <b>NP</b>               |                      |              |
| <b>PORCENTAJE QUE PASA TAMIZ 200</b>  | <b>6.98</b>             | <b>USC</b>           | <b>SP</b>    |
| <b>PORCENTAJE QUE PASA TAMIZ No 4</b> | <b>89.37</b>            |                      |              |
| <b>DESCRIPCION DEL MATERIAL</b>       | <b>ARENA</b>            |                      |              |

*Fuente: Autores*

El material de relleno tipo Arena proveniente de la cantera de Rotinet (Arroyo de Piedra) No presento valores de plasticidad y un porcentaje que pasa el tamiz No 4 y No 200 que se aprecian en la **Tabla 7**, los cuales lo caracterizan como una Arena mal gradada según el sistema unificado y en un suelo tipo S-3 según la ASSTHO. Con estos resultados y una descripción visual podemos afirmar que la muestra es una *Arena mal grada*.

Para una mejor apreciación de los resultados obtenidos, Los procedimientos de los ensayos como tamizado, obtención de los límites y la curva granulométrica se pueden apreciar detallados en los anexos.

## 5.2. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN

Se realizaron un (1) ensayo de compactación por muestra y por porcentaje de fibra utilizada, es decir se realizaron cuatro (4) ensayos por material de relleno, mediante el método del Proctor Modificado, para hallar la humedad óptima de compactación y la densidad específica seca máxima del suelo para cada tipo de material. Los resultados fueron los siguientes:

### 5.2.1. Resultado de compactación en material tipo arcilla

*Tabla 8 Resultado de proctor en material tipo Arcilla*

| RESULTADO PROCTOR ARCILLA |                                     |                                   |              |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| ADICION DE FIBRA (%)      | $\Upsilon_d$ (lb/pie <sup>3</sup> ) | $\Upsilon_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
| 0%                        | 99.96                               | 1.6                               | 18.37        |
| 7%                        | 101.1                               | 1.62                              | 18.28        |
| 14%                       | 102.44                              | 1.64                              | 18.15        |
| 21%                       | 100.03                              | 1.6                               | 18.88        |

*Fuente: Autores*

Para la arcilla sin adición de fibra se obtuvo una densidad máxima seca de 99.96 Lb/pie<sup>3</sup>, desde este resultado podemos ver el comportamiento del material al ir adicionando la fibra de acuerdo a los porcentajes establecidos anteriormente. Estos resultados para la arcilla se pueden apreciar en la **Tabla 8**, y ver su comportamiento en la **Grafica 1**, los ensayos con su respectiva descripción y con más detalle se pueden apreciar en los anexo.

Los resultados arrojados en este ensayo, para el material arcilloso, muestra una variación mínima en su peso específico pero ascendente con la adición de fibra en los porcentajes de 7% y 14%. Pero para el caso del refuerzo con porcentajes del 21% el peso específico del material disminuye, en comparación a los dos materiales anteriormente mencionados, al punto de arrojar un peso específico muy similar al presentado en el material sin refuerzo, esto puede ser debido a la cantidad excesiva de fibra que arroja este porcentaje, la cual realiza cambios volumétricos en su estructura que aumentan su relación de vacío, según esta tendencia se esperaría que al seguir aumentando este porcentaje la relación de vacío en

el material aumente a tal punto de tener una densidad inferior a la obtenida en el material sin refuerzo de fibra.



*Grafica 1 Variación de la densidad máxima seca en material tipo Arcilla*

### 5.2.2. Resultado de compactación en material tipo zahorra

*Tabla 9 Resultado de proctor en material tipo Zahorra*

| RESULTADOS PROCTOR ZAHORRA |                                   |                                 |              |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ADICION DE FIBRA (%)       | $\gamma_d$ (lb/pie <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
| 0%                         | 123.7                             | 1.98                            | 7.8          |
| 7%                         | 124.4                             | 1.99                            | 7.9          |
| 14%                        | 126.5                             | 2.03                            | 8.0          |
| 21%                        | 123.7                             | 1.98                            | 7.8          |

*Fuente: Autores*

Para la Zahorra sin adición de fibra se obtuvo una densidad máxima seca de 123.7 Lb/pie<sup>3</sup>, desde este resultado podemos ver el comportamiento del material al ir adicionando la fibra de acuerdo a los porcentajes establecidos anteriormente. Estos resultados para la Zahorra se pueden apreciar en la **Tabla 9**, y ver su comportamiento en la **Grafica 2**, los ensayos con su respectiva descripción y con más detalle se pueden apreciar en los anexo.

Para el material tipo zahorra el comportamiento es el mismo que en la arcilla, debido a la misma razón presentada. Ya con este patrón se puede ir mostrando que una cantidad excesiva de fibra es contraproducente al comportamiento de los materiales



Gráfica 2 Variación de la densidad máxima seca en material tipo Zahorra

#### 4.2.3 Resultado de compactación en material tipo arena

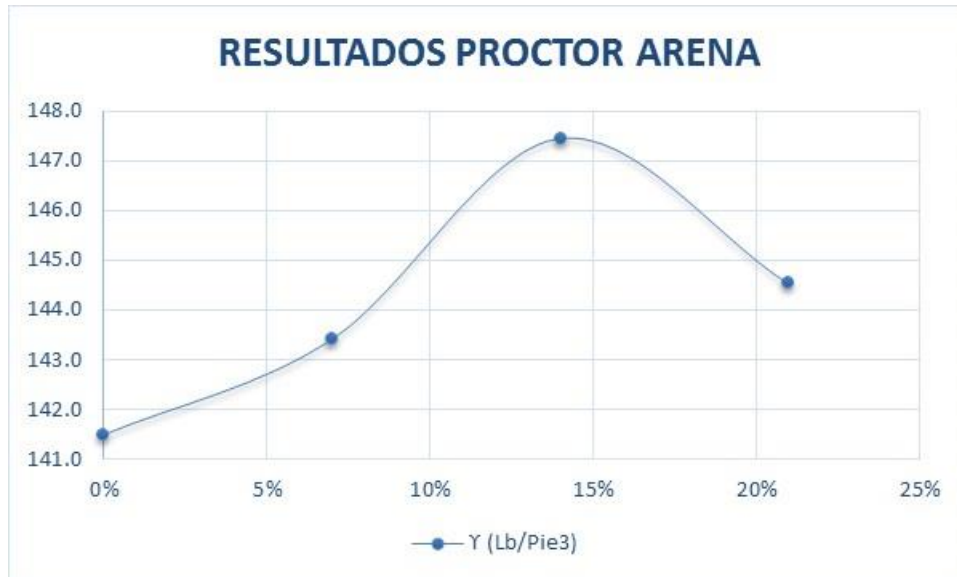
Tabla 10 Resultado de proctor en material tipo Arena

| RESULTADOS PROCTOR ARENA |                                  |                                 |              |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------|
| ADICION DE FIBRA (%)     | $\gamma_d$ (lb/ft <sup>3</sup> ) | $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $\omega$ (%) |
| 0%                       | 141.5                            | 2.27                            | 5.39         |
| 7%                       | 143.4                            | 2.3                             | 5.41         |
| 14%                      | 147.5                            | 2.36                            | 5.34         |
| 21%                      | 144.5                            | 2.32                            | 5.56         |

Fuente: Autores

Para la Arena sin adición de fibra se obtuvo una densidad máxima seca de 141.5 Lb/ft<sup>3</sup>, desde este resultado podemos ver el comportamiento del material al ir adicionando la fibra de acuerdo a los porcentajes establecidos anteriormente. Estos resultados para la Arena se pueden apreciar en la **Tabla 10**, y ver su comportamiento en la **Gráfica 3**, los ensayos con su respectiva descripción y con más detalle se pueden apreciar en los anexos.

Para el material tipo arena el comportamiento presentado en los materiales anteriores, con la adición de fibra, se mantiene igual aunque en este caso al adicionar un 21% de fibra el peso específico continúa siendo superior al material sin adición de fibra de geo textil.



*Grafica 3 Variación de la densidad máxima seca en material tipo Arena*

En términos generales se puede observar que la adición de fibra genera el mismo comportamiento en los tres tipos de materiales de relleno, aunque en la arena muestra un mejor comportamiento en todos los casos.

### 4.3 RESULTADOS DE CBR

Se realizaron un (1) ensayo de CBR por muestra y por porcentaje de fibra utilizada, es decir se realizaron cuatro (4) ensayos por material de relleno, mediante el procedimiento especificado en la norma INVIAS E-148 y la ASTM D 1883-73, para hallar la correlación de este parámetro con el módulo de reacción (K) de los distintos tipos de material. Y se muestran en los resultados fueron los siguientes:

### 4.3.1 Resultado de CBR en material tipo arcilla

*Tabla 11 Resultado de CBR en material tipo Arcilla*

| VARIACION DE CBR EN ARCILLAS |     |     |     |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Porcentaje de geotextil      | 0%  | 7%  | 14% | 21% |
| CBR 100%                     | 2.7 | 3.7 | 4.0 | 3.3 |
| CBR 95%                      | 2.4 | 3.1 | 3.6 | 3.1 |
| CBR 90%                      | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.2 |

*Fuente: Autores*

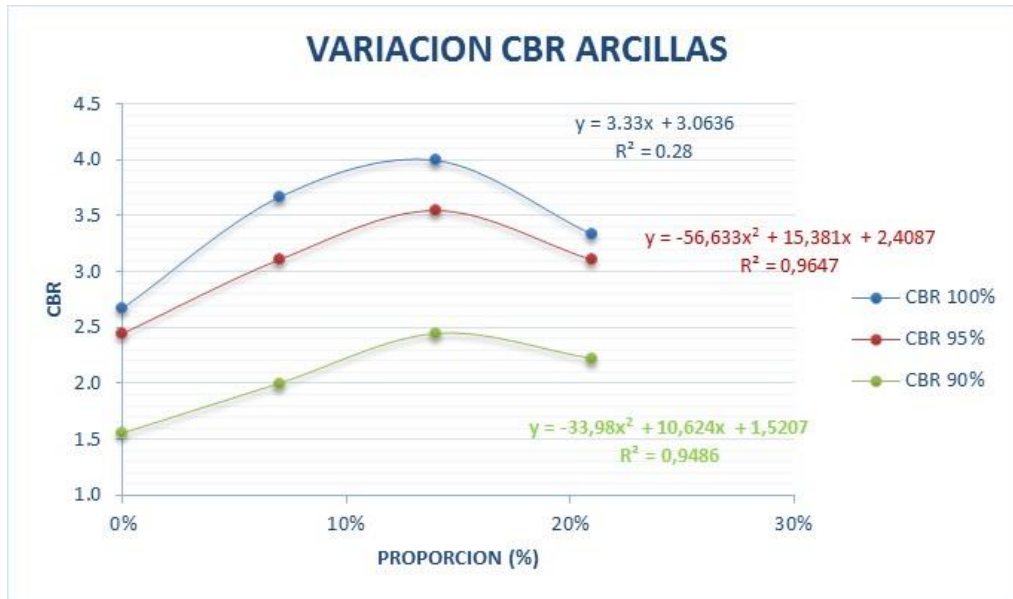
Para la arcilla sin adición de fibra se obtuvo un CBR 100% de 2.7%, desde este resultado podemos ver el comportamiento del material al ir adicionando la fibra de acuerdo a los porcentajes establecidos anteriormente. Estos resultados para la arcilla se pueden apreciar en la **Tabla 11**, y ver su comportamiento en la **Grafica 4**, los ensayos con su respectiva descripción y con más detalle se pueden apreciar en los anexo.

*Tabla 12 Resultados de Densidad Máxima seca En el CBR para El Material tipo Arcilla*

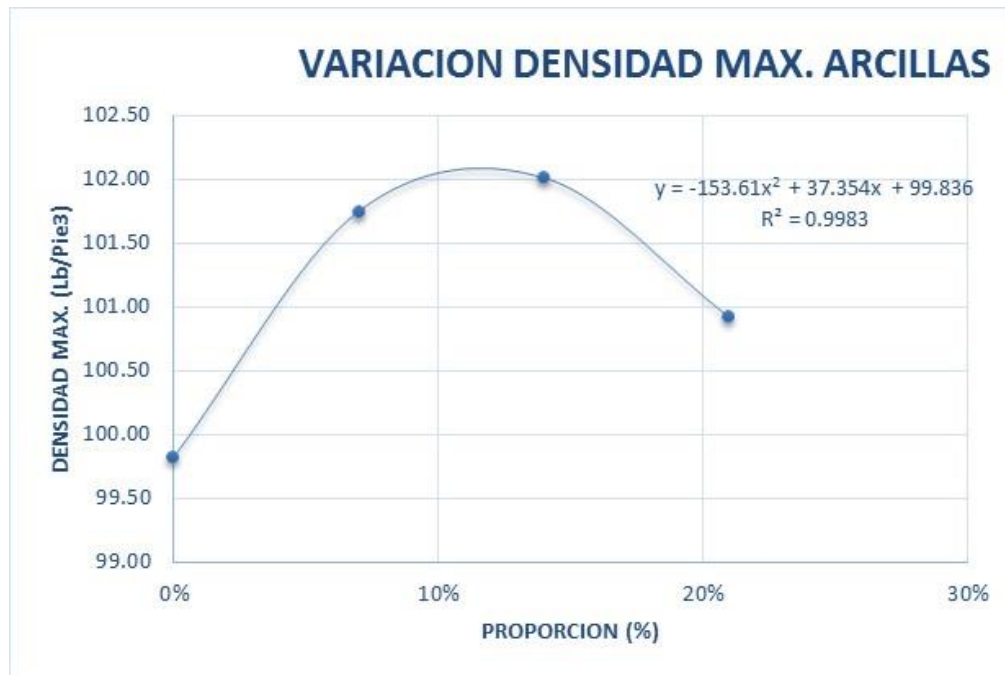
| VARIACION DE LA DENSIDAD EN ARCILLAS   |       |        |        |        |
|----------------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| Porcentaje de geotextil                | 0%    | 7%     | 14%    | 21%    |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pie <sup>3</sup> ) | 99.82 | 101.74 | 102.01 | 100.92 |

*Fuente: Autores*

De igual forma y como se apreció en la sección del proctor la densidad máxima seca para la arcilla fue de 99.82 Lb/pie<sup>3</sup>, muy similar al obtenido en el ensayo de proctor modificado y mantiene el mismo comportamiento como se pueden apreciar en la **Tabla 12** y la **Grafica 5**.



*Grafica 4 Variación del CBR en el material tipo Arcilla*



*Grafica 5 Variacion Densidad Máxima según CBR en Material Tipo Arcilla*



### 4.3.2 Resultado de CBR en material tipo Zahorra

Para la Zahorra sin adición de fibra se obtuvo un CBR 100% de 2.7%, desde este resultado podemos ver el comportamiento del material al ir adicionando la fibra de acuerdo a los porcentajes establecidos anteriormente. Estos resultados para la Zahorra se pueden apreciar en la **Tabla 13**, y ver su comportamiento en la **Grafica 6**, los ensayos con su respectiva descripción y con más detalle se pueden apreciar en los anexo.

*Tabla 13 Resultado de CBR en material tipo Zahorra*

| VARIACION DE CBR EN ZAHORRA |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|
| Porcentaje de geotextil     | 0%   | 7%   | 14%  | 21%  |
| CBR 100%                    | 31.1 | 31.7 | 32.6 | 32.0 |
| CBR 95%                     | 29.5 | 29.7 | 30.9 | 30.2 |
| CBR 90%                     | 28.0 | 28.2 | 29.1 | 28.4 |

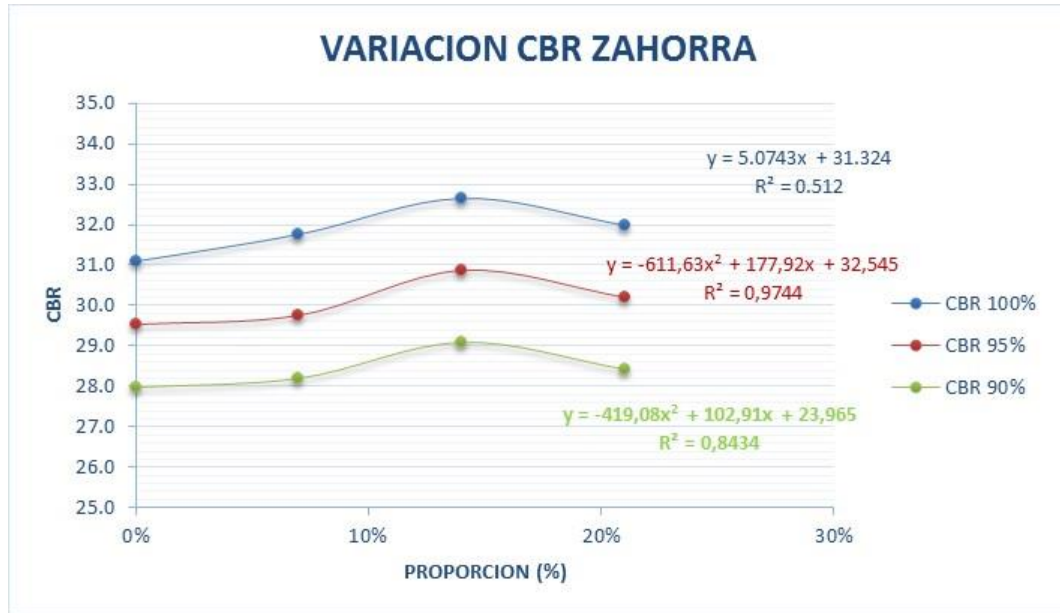
*Fuente: Autores*

De igual forma y como se apreció en la sección del proctor la densidad máxima seca para la Zahorra fue de 124.07 Lb/pie<sup>3</sup>, muy similar al obtenido en el ensayo de proctor modificado y mantiene el mismo comportamiento como se pueden apreciar en la **Tabla 14** y la **Grafica 7**.

*Tabla 14 Resultados de Densidad Máxima seca En el CBR para El Material tipo Zahorra*

| VARIACION DE LA DENSIDAD EN ZAHORRA |        |        |        |        |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Porcentaje de geotextil             | 0%     | 7%     | 14%    | 21%    |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pie3)           | 124.07 | 124.79 | 126.56 | 123.75 |

*Fuente: Autores*



*Grafica 6 Variación del CBR en el material tipo Zahorra*



*Grafica 7 Variación Densidad Máxima según CBR en Material Tipo Zahorra*

### 4.3.3 Resultado de CBR en material tipo arena

Para la Arena sin adición de fibra se obtuvo un CBR 100% de 21.3%, desde este resultado podemos ver el comportamiento del material al ir adicionando la fibra de acuerdo a los porcentajes establecidos anteriormente. Estos resultados para la Arena se pueden apreciar en la **Tabla 15**, y ver su comportamiento en la **Grafica 9**, los ensayos con su respectiva descripción y con más detalle se pueden apreciar en los anexo.

*Tabla 15 Resultado de CBR en material tipo Arena*

| VARIACION DE CBR EN ARENAS |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|
| Porcentaje de geotextil    | 0%   | 7%   | 14%  | 21%  |
| CBR 100%                   | 21.3 | 22.6 | 24.4 | 22.9 |
| CBR 95%                    | 20.2 | 21.5 | 23.1 | 21.8 |
| CBR 90%                    | 19.1 | 20.2 | 22.0 | 20.4 |

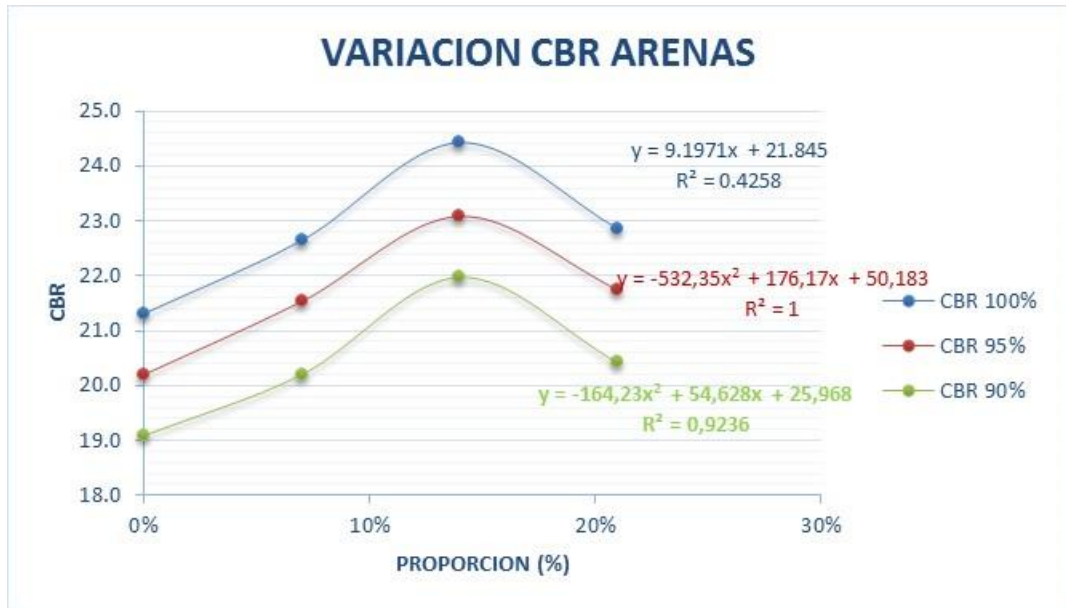
*Fuente: Autores*

De igual forma y como se apreció en la sección del proctor la densidad máxima seca para la Arena fue de 141.62 Lb/pie<sup>3</sup>, muy similar al obtenido en el ensayo de proctor modificado y mantiene el mismo comportamiento como se pueden apreciar en la **Tabla 16** y la **Grafica 9**.

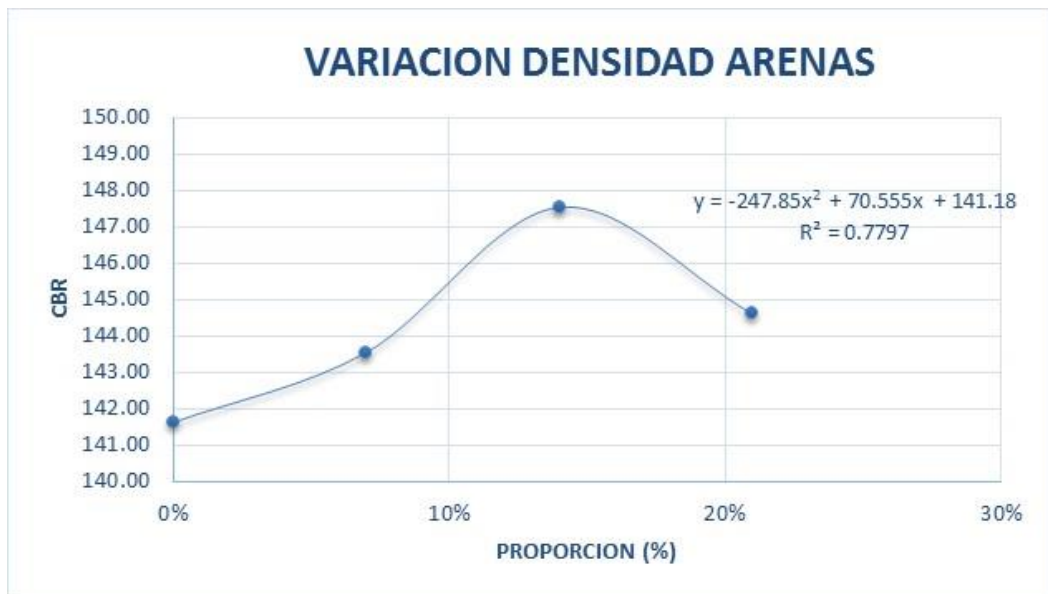
*Tabla 16 Resultados de Densidad Máxima seca En el CBR para El Material tipo Arena*

| VARIACION DE LA DENSIDAD EN ARENAS |        |        |        |        |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Porcentaje de geotextil            | 0%     | 7%     | 14%    | 21%    |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pie3)          | 141.62 | 143.55 | 147.54 | 144.61 |

*Fuente: Autores*



*Grafica 8 Variación del CBR en el material tipo Arena*



*Grafica 9 Variación Densidad Máxima según CBR en Material Tipo Arena*

Como se puede interpretar en los resultados obtenidos en los ensayos de CBR se mantiene el mismo comportamiento que en los resultados del ensayo de proctor modificado, para los porcentajes de 7% y 14% el CBR mantiene una tendencia ascendente puede ser debido a que las fibras ayudan a entrelazar la macro-estructura de los materiales, pero al adicionarle demasiada fibra (caso de 21% de adición de fibra) las relaciones peso-volumen varían desfavoreciendo su comportamiento generando colchones que debilitan la capacidad del material y permiten que el pistón penetre más fácilmente. Esta tendencia repercute en menos intensidad en la arena.

### 4.3 RESULTADOS DE CORTE DIRECTO

#### 4.3.1 Resultado de ensayo de corte directo en material tipo zahorra

*Tabla 17 Resultado del ensayo de corte directo en zahorra sin refuerzo.*

| <b>RESUMEN SUELO SIN REFUERZO (ZAHORRA AMARILLENTO - PALMARITO)</b> |                           |                                   |                             |                                         |              |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------|
| <b>ENSAYO</b>                                                       | <b>ANGULO DE FRICCIÓN</b> | <b>COHESION kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>γ (g/Cm<sup>3</sup>)</b> | <b>γ<sub>d</sub> (g/Cm<sup>3</sup>)</b> | <b>ω (%)</b> |
| 1                                                                   | 31.75                     | 1.59                              | 1.87                        | 1.54                                    | 7.88         |
| 2                                                                   | 35.29                     | 1.05                              | 1.88                        | 1.57                                    | 7.89         |
| 3                                                                   | 34.24                     | 1.04                              | 2.01                        | 1.62                                    | 7.91         |
| <b>PROMEDIOS</b>                                                    | <b>33.76</b>              | <b>1.23</b>                       | <b>1.92</b>                 | <b>1.58</b>                             | <b>7.95</b>  |

*Fuente: Autores*

La **Tabla 17** muestra los resultados de los ensayos de corte directo en el suelo tipo Zahorra en condiciones normales; arrojando como resultados promedios un ángulo de fricción de 33.76° y una cohesión de 1.23 Kg/Cm<sup>2</sup>.

*Tabla 18 Resultado del ensayo de corte directo en zahorra con adición de 0.25% Geotextil.*

| <b>RESUMEN SUELO (ZAHORRA AMARILLENTO - PALMARITO) + 0,25% GT-2400</b> |                           |                                   |                             |                                         |              |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------|
| <b>ENSAYO</b>                                                          | <b>ANGULO DE FRICCIÓN</b> | <b>COHESION kg/cm<sup>2</sup></b> | <b>γ (g/Cm<sup>3</sup>)</b> | <b>γ<sub>d</sub> (g/Cm<sup>3</sup>)</b> | <b>ω (%)</b> |
| 1                                                                      | 38.83                     | 0.74                              | 2.13                        | 1.67                                    | 7.84         |
| 2                                                                      | 38.67                     | 0.74                              | 1.86                        | 1.55                                    | 7.97         |
| 3                                                                      | 36.26                     | 0.80                              | 1.98                        | 1.61                                    | 7.91         |
| <b>PROMEDIOS</b>                                                       | <b>37.92</b>              | <b>0.76</b>                       | <b>1.99</b>                 | <b>1.61</b>                             | <b>7.91</b>  |

*Fuente: Autores*

La **Tabla 18** muestra los resultados de los ensayos de corte directo en zahorras con una proporción de 0.25% de adición de geotextil con respecto a su peso; arrojando como resultados promedios un ángulo de fricción de 37.92° y una cohesión de 0.74 Kg/Cm<sup>2</sup>.

*Tabla 19 Resultado del ensayo de corte directo en zahorra con adición de 0.50% Geotextil.*

| <b>RESUMEN SUELO (ZAHORRA AMARILLENTO - PALMARITO)+ 0,5% GT-2400</b> |                           |                        |                  |                   |              |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| <b>ENSAYO</b>                                                        | <b>ANGULO DE FRICCION</b> | <b>COHESION kg/cm2</b> | <b>γ (g/Cm3)</b> | <b>γd (g/Cm3)</b> | <b>ω (%)</b> |
| 1                                                                    | 43.63                     | 0.44                   | 1.78             | 1.49              | 7.87         |
| 2                                                                    | 35.28                     | 0.79                   | 1.96             | 1.59              | 7.99         |
| 3                                                                    | 36.34                     | 0.67                   | 2.01             | 1.64              | 7.86         |
| <b>PROMEDIOS</b>                                                     | 38.42                     | 0.63                   | 1.92             | 1.57              | 7.91         |

*Fuente: Autores*

La **Tabla 19** muestra los resultados de los ensayos de corte directo en zahorras con una proporción de 0.50% de adición de geotextil con respecto a su peso; arrojando como resultados promedios un ángulo de fricción de 38.42° y una cohesión de 0.63 Kg/Cm<sup>2</sup>.

*Tabla 20 Resultado del ensayo de corte directo en zahorra con adición de 0.75% Geotextil.*

| <b>RESUMEN SUELO (ZAHORRA AMARILLENTO - PALMARITO)+ 0,75% GT-2400</b> |                           |                        |                  |                   |              |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| <b>ENSAYO</b>                                                         | <b>ANGULO DE FRICCION</b> | <b>COHESION kg/cm2</b> | <b>γ (g/Cm3)</b> | <b>γd (g/Cm3)</b> | <b>ω (%)</b> |
| 1                                                                     | 32.53                     | 0.41                   | 1.92             | 1.53              | 7.80         |
| 2                                                                     | 38.18                     | 0.24                   | 1.87             | 1.46              | 7.92         |
| 3                                                                     | 38.35                     | 0.34                   | 2.06             | 1.63              | 7.84         |
| <b>PROMEDIOS</b>                                                      | 36.35                     | 0.33                   | 1.95             | 1.54              | 7.85         |

*Fuente: Autores*

La **Tabla 20** muestra los resultados de los ensayos de corte directo en zahorras con una proporción de 0.75% de adición de geotextil con respecto a su peso; arrojando como resultados promedios un ángulo de fricción de 36.35° y una cohesión de 0.33 Kg/Cm<sup>2</sup>.

### 4.3.2 Resultado de ensayo de corte directo en material tipo Arcilla

*Tabla 21 Resultado del ensayo de corte directo en arcillas sin refuerzo.*

| <b>RESUMEN SUELO SIN REFUERZO (ARCILLA PARDA AMARILLA)</b> |                           |                        |                  |                   |              |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| <b>ENSAYO</b>                                              | <b>ANGULO DE FRICCION</b> | <b>COHESION kg/cm2</b> | <b>Y (g/Cm3)</b> | <b>Yd (g/Cm3)</b> | <b>ω (%)</b> |
| 1                                                          | 14.48                     | 0.41                   | 1.87             | 1.54              | 18.40        |
| 2                                                          | 12.05                     | 0.24                   | 1.88             | 1.57              | 18.48        |
| 3                                                          | 11.34                     | 0.34                   | 2.01             | 1.62              | 18.53        |
| <b>PROMEDIOS</b>                                           | 12.62                     | 0.33                   | 1.92             | 1.58              | 18.47        |

*Fuente: Autores*

La **Tabla 21** muestra los resultados de los ensayos de corte directo en arcillas sin adición de geotextil; arrojando como resultados promedios un ángulo de fricción de 12.62° y una cohesión de 0.33 Kg/Cm<sup>2</sup>.

*Tabla 22 Resultado del ensayo de corte directo en arcilla con adición de 0.25% Geotextil*

| <b>RESUMEN SUELO (ARCILLA PARDA AMARILLA) + 0,25% GT-2400</b> |                           |                        |                  |                   |              |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| <b>ENSAYO</b>                                                 | <b>ANGULO DE FRICCION</b> | <b>COHESION kg/cm2</b> | <b>Y (g/Cm3)</b> | <b>Yd (g/Cm3)</b> | <b>ω (%)</b> |
| 1                                                             | 21.57                     | 0.20                   | 2.01             | 1.99              | 18.69        |
| 2                                                             | 21.48                     | 0.20                   | 2.26             | 2.12              | 18.39        |
| 3                                                             | 20.14                     | 0.22                   | 2.15             | 2.03              | 18.53        |
| <b>PROMEDIOS</b>                                              | 21.06                     | 0.21                   | 2.14             | 2.05              | 18.54        |

*Fuente: Autores*

La **Tabla 22** muestra los resultados de los ensayos de corte directo en arcillas con una proporción de 0.25% de adición de geotextil con respecto a su peso; arrojando como resultados promedios un ángulo de fricción de 21.06° y una cohesión de 0.21 Kg/Cm<sup>2</sup>.

*Tabla 23 Resultado del ensayo de corte directo en arcilla con adición de 0.50% Geotextil*

| <b>RESUMEN SUELO (ARCILLA PARDA AMARILLA) + 0,5% GT-2400</b> |                           |                        |                  |                   |              |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| <b>ENSAYO</b>                                                | <b>ANGULO DE FRICCION</b> | <b>COHESION kg/cm2</b> | <b>Y (g/Cm3)</b> | <b>Yd (g/Cm3)</b> | <b>ω (%)</b> |
| 1                                                            | 24.24                     | 0.12                   | 2.12             | 1.96              | 18.32        |
| 2                                                            | 19.60                     | 0.21                   | 2.39             | 2.01              | 18.41        |
| 3                                                            | 20.19                     | 0.19                   | 2.26             | 2.09              | 18.52        |
| <b>PROMEDIOS</b>                                             | 21.34                     | 0.17                   | 2.26             | 2.02              | 18.42        |

*Fuente: Autores*

La **Tabla 23** muestra los resultados de los ensayos de corte directo en arcillas con una proporción de 0.50% de adición de geotextil con respecto a su peso; arrojando como resultados promedios un ángulo de fricción de 21.34° y una cohesión de 0.17 Kg/Cm<sup>2</sup>.

*Tabla 24 Resultado del ensayo de corte directo en arcilla con adición de 0.75% Geotextil*

| <b>RESUMEN SUELO (ARCILLA PARDA AMARILLA) + 0,75% GT-2400</b> |                           |                        |                  |                   |              |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| <b>ENSAYO</b>                                                 | <b>ANGULO DE FRICCION</b> | <b>COHESION kg/cm2</b> | <b>Y (g/Cm3)</b> | <b>Yd (g/Cm3)</b> | <b>ω (%)</b> |
| 1                                                             | 18.07                     | 0.34                   | 2.13             | 1.96              | 18.43        |
| 2                                                             | 21.21                     | 0.28                   | 2.37             | 2.01              | 18.37        |
| 3                                                             | 21.31                     | 0.31                   | 2.24             | 1.98              | 18.49        |
| <b>PROMEDIOS</b>                                              | 20.20                     | 0.31                   | 2.25             | 1.98              | 18.43        |

*Fuente: Autores*

La **Tabla 24** muestra los resultados de los ensayos de corte directo en arcillas con una proporción de 0.75% de adición de geotextil con respecto a su volumen; arrojando como resultados promedios un ángulo de fricción de 20.20° y una cohesión de 0.31 Kg/Cm<sup>2</sup>.

#### **4.4 CALCULO DE ESPESORES DE PAVIMENTO**

De los materiales de relleno de estudio el único que tiene una variación representativa en el CBR fue el material arcilloso con una variación de 48.5%, mientras que el material tipo zahorra solo tuvo una variación del 4.8% y no se considera suficiente para que logre realizar algún cambio en la estructura del pavimento, por lo tanto se considera inviable utilizar geotextil como material de refuerzo para este material. En el caso de la arena no cumple como material de relleno como base o subbase según el INVIAS, por lo tanto solo se realizó la comparación económica con el material tipo arcilla.



Para el cálculo de los espesores del pavimento se realizó un diseño de pavimento rígido con el método de la ASSHTO y con ayuda del software ecuación ASSHTO 93. Para efectos del presente trabajo los únicos datos de entrada que variamos fue el valor del módulo de reacción (k) que esta correlacionado directamente con el CBR. Los siguientes datos de entrada se mantuvieron iguales en todos los casos:

**Confiabilidad (R): 75% ,  $Z_r=0.674$**

**Desviación estándar (So): 0.35**

**Serviciabilidad Inicial (pi): 4.3**

**Serviciabilidad Final (pt): 2**

**Módulo de elasticidad del concreto (Ec): 3100000 psi**

**Módulo de rotura del concreto (Sc): 600 psi**

**Coefficiente de trasmisión de carga (J): 3.9**

**Coefficiente de Drenaje (Cd): 1.2**

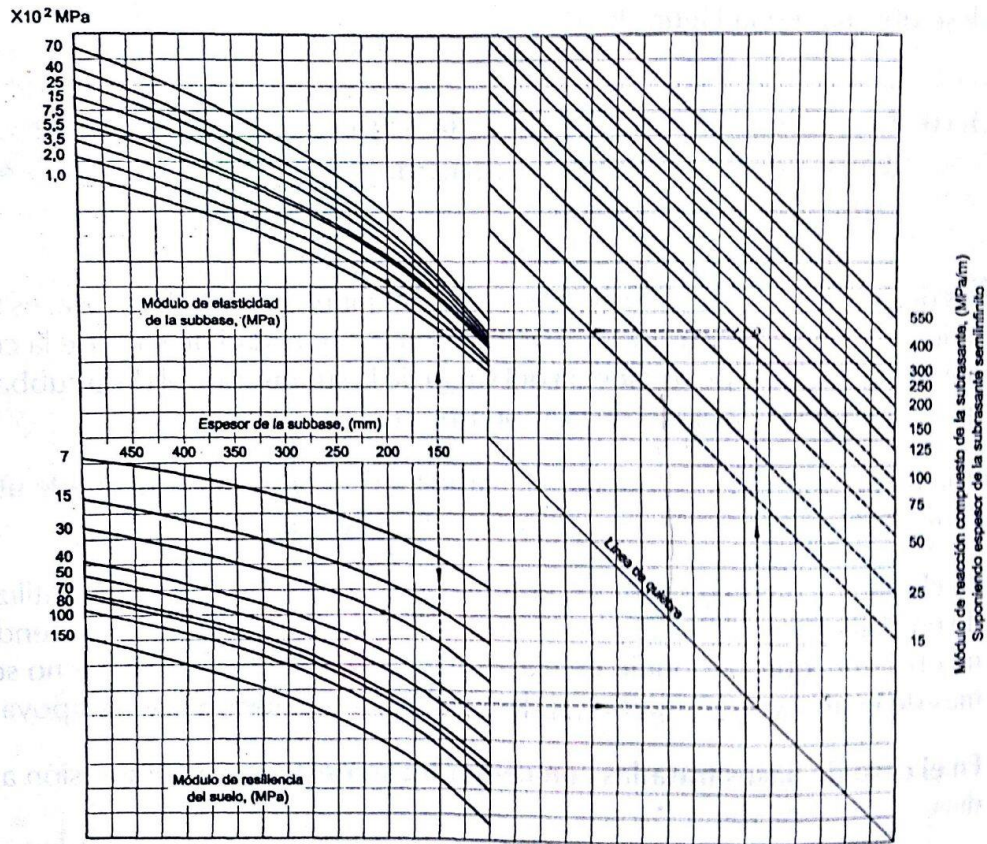
**# De Ejes Equivalentes a 82 Kn (8,2 Ton). (W82): 20.000.000**

The image shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93". It is a form for inputting data for pavement design. The form is organized into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Two radio buttons, "Pavimento flexible" (unselected) and "Pavimento rígido" (selected).
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu for "Reliability (R)" and an input field for "So".
- Serviciabilidad inicial y final:** Input fields for "PSI inicial" and "PSI final".
- Módulo de reacción de la subrasante:** An input field for "k" followed by the unit "pci".
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four input fields: "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", "Coefficiente de trasmisión de carga - (J)", and "Coefficiente de drenaje - (Cd)".
- Tipo de Análisis:** Two radio buttons, "Calcular D" (selected) and "Calcular W18". Below "Calcular D" is an input field labeled "W18 =". To the right, under "Espesor de losa (plg)", is an input field labeled "D =".
- Buttons:** "Calcular" and "Salir" buttons at the bottom.

*Imagen 7 Software para Diseño de pavimento según método AASHTO*

*Fuente: Autores*



*Imagen 8* Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante

*Fuente:* 3° edición Tomo I-Ingeniería de Pavimentos-Ing. Alfonso Montejo-Capítulo 8-diseño de espesores de pavimento rígidos para calle y carretera

#### 4.4.1 Diseño de pavimento con subrasante tipo arcilla sin refuerzo

Tomamos el CBR 100% obtenido para la arcilla sin refuerzo presentado en la **Tabla 11** que es **2.7%** y para hallar el módulo de resiliente utilizamos la correlación siguiente:

$$Mr = 1.500 * CBR (Lb/Plg^2)$$

Para este caso:

$$Mr: 1.500 * 2.7 = 4050 \text{ PSI} \longrightarrow 27,92 \text{ MPa}$$

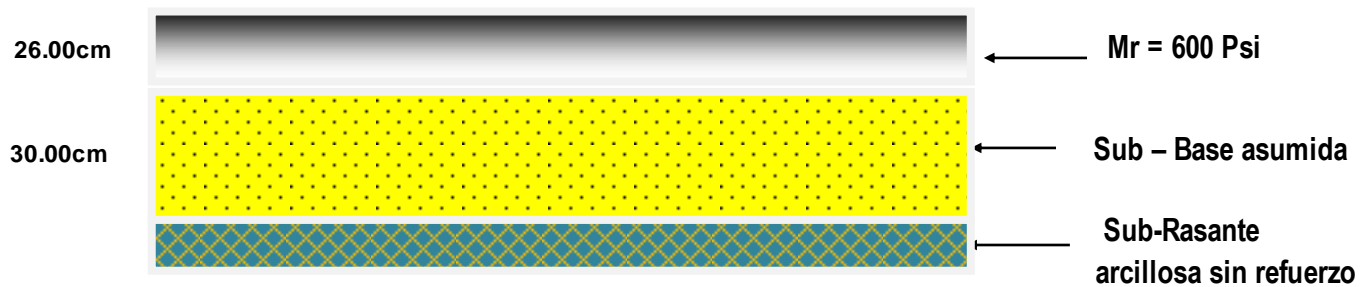
Para hallar el K combinada asumimos un espesor de subbase de 300mm y módulo de elasticidad de 100 MPa y entramos a la **Imagen 8** lo que nos arroja un K combinado de 64

MPa-m, aplicando factor de conversión 237 Pci y se introdujo en el software arrojando el siguiente resultado:

*Imagen 9 cálculo de espesor de losa para una subrasante arcillosa sin refuerzo de fibra de geotextil*

*Fuente: Autores*

El espesor de la losa arroja calculado es de 10.4 pulgadas o 26.00 cm dejando unos espesores de pavimento como sigue:



*Imagen 10 Sección Del Pavimento Rígido Sin Mejorar La Sub-Rasante Arcillosa*

#### 4.4.2 Diseño de pavimento con subrasante tipo arcilla con refuerzo óptimo de 14% de geotextil

Tomamos el CBR 100% obtenido para la arcilla con refuerzo a 14% de fibra geotextil adicionada presentado en la **Tabla 11** que es **4.0%** y para hallar el módulo de resiliente utilizamos la correlación siguiente:

$$Mr = 1.500 * CBR (Lb/Pig^2)$$

Para este caso:

$$Mr: 1.500 * 4.0 = 4000 \text{ PSI} \longrightarrow 41,36 \text{ MPa}$$

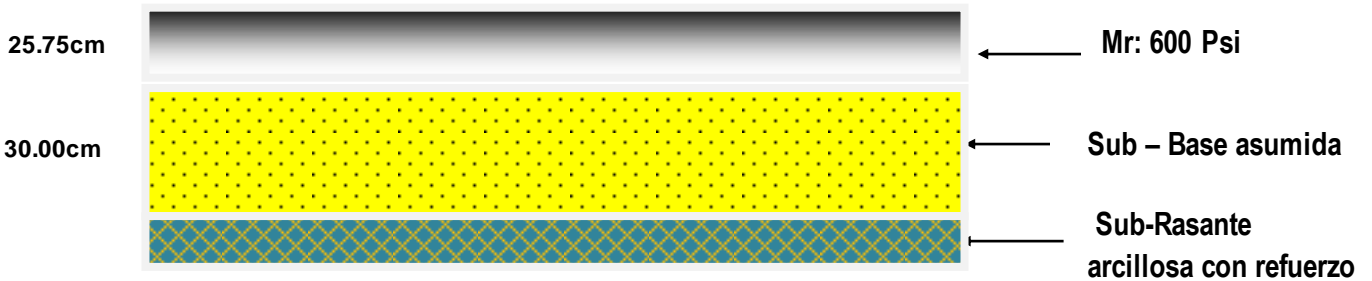
Para hallar el K combinada mantenemos un espesor de subbase de 300mm y módulo de elasticidad de 100 MPa y entramos a la **Imagen 8** lo que nos arroja un K combinado de 75 MPa-m, aplicando factor de conversión 274.6 Pci y se introdujo en el software arrojando el siguiente resultado:

| Tipo de Pavimento                             |                                                   | Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) |           |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------|
| <input type="radio"/> Pavimento flexible      | <input checked="" type="radio"/> Pavimento rígido | 75 % Zr=-0.674                               | So = 0.35 |
| Serviciabilidad inicial y final               |                                                   | Módulo de reacción de la subrasante          |           |
| PSI inicial                                   | PSI final                                         | k                                            | pci       |
| 4.3                                           | 2                                                 | 274.6                                        |           |
| Información adicional para pavimentos rígidos |                                                   |                                              |           |
| Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) | 3100000                                           | Coeficiente de transmisión de carga - (J)    | 3.9       |
| Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)      | 600                                               | Coeficiente de drenaje - (Cd)                | 1.2       |
| Tipo de Análisis                              |                                                   | Espesor de losa (plg)                        |           |
| <input checked="" type="radio"/> Calcular D   | W18 = 20000000                                    | D =                                          | 10.3      |
| <input type="radio"/> Calcular W18            |                                                   |                                              |           |
| Calcular                                      |                                                   | Salir                                        |           |

**Imagen 11** cálculo de espesor de losa para una subrasante arcillosa con refuerzo óptimo de fibra de geotextil

Fuente: Autores

El espesor de la losa arrojado es de 10.3 pulgadas o 25.75 cm dejando unos espesores de pavimento como sigue:



*Imagen 12 Sección Del Pavimento Rígido con refuerzo óptimo de fibra de geotextil a la subrasante arcillosa*

*Fuente: Autores*

#### 4.4.3 Comparación Económica entre el sistema constructivo tradicional y mejorando la subrasante con fibra de geotextil en el material arcilloso.

Para realizar la comparación realizamos un análisis de precio unitario a un metro cuadrado de pavimento sin refuerzo, otro adicionando el porcentaje óptimo de fibra de geo-textil obtenido y uno donde se especifique el precio por m<sup>3</sup> de mejoramiento de sub-rasante arcillosa, estos APU's se pueden observar en los anexos y en la **Tabla 25** se pueden ver los valores unitarios por metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

El precio de mejoramiento de la sub-rasante tipo arcilla por metro cubico (m<sup>3</sup>) es de **\$201.261,92**, el análisis de precio unitario se puede ver en detalle en la **Imagen 13**

*Tabla 25 Comparación económica entre el pavimento sin refuerzo de sub-rasante y con refuerzo de sub-rasante tipo arcilla*

| DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                    | Valor Unitario/m <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Pavimento rígido con concreto Mr= 600 psi y espesor=26.00cm, Sub-base granular con espesor=30.00cm, sin mejoramiento de sub-rasante                                            | <b>\$279.560,00</b>           |
| Pavimento rígido con concreto Mr= 600 psi y espesor=26.00cm, Sub-base granular con espesor=30.00cm, con instalación tradicional de geo textil, sin mejoramiento de sub-rasante | <b>\$ 286.230,91</b>          |
| Pavimento rígido con concreto Mr= 600 psi y espesor=25.75cm, Sub-base granular con espesor=30.00cm, mejoramiento de sub-rasante adicionando 14%de fibra de geo textil          | <b>\$ 296.696,19</b>          |
| <b>DIFERENCIA</b>                                                                                                                                                              | <b>(S.G.) \$17.136,19</b>     |
|                                                                                                                                                                                | <b>(G.)\$10.465,28</b>        |

*Fuente: Autores*



## 5 CONCLUSIONES

- Por medio de la granulometría por mallas y los límites de Atterberg, se concluye que los materiales objeto de estudio se clasifican según el Sistema Unificado y la AASTHO en: Arcilla de Alta plasticidad (CH, A-7-6), Arena Mal Gradada (SP, S - 3), Arena Arcillosa (SC, A-2-7), respectivamente.
- Mediante los ensayos de compactación (proctor modificado) para los materiales sin adición de geo textil, se determinó que la humedad óptima y la densidad máxima seca para la Arcilla fue  $\gamma_d = 99.96 \text{ Lb/Pie}^3$ ,  $\omega = 7.8\%$ , para la Zahorra fue  $\gamma_d = 123.7 \text{ Lb/Pie}^3$ ,  $\omega = 18.37\%$  y para la Arena  $\gamma_d = 141.5 \text{ Lb/Pie}^3$ ,  $\omega = 5.39\%$
- Mediante los ensayos de CBR para los materiales sin adición de geo textil se obtuvieron los siguientes resultados: Arcilla: 2.7 %, Arena: 21.3 % y la Zahorra: 31.1%
- La capacidad portante de un suelo es directamente proporcional a sus parámetros de resistencia al corte: ángulo de fricción interna y cohesión (C), y de la profundidad y ancho de la cimentación. La siguiente es la ecuación general de la capacidad portante:  
$$q_{\text{últ}} = cN_c + \bar{q}N_q + \frac{\gamma B}{2}N_\gamma$$
- Los factores  $N_c$ ,  $N_q$  y  $N_\gamma$  son calculados en base al ángulo de fricción interna del suelo haciendo que varíen exponencialmente, ya que los resultados arrojados por los ensayos realizados para la arcilla con la adición de fibra de geo textil, para este parámetro fueron favorables concluimos que la capacidad portante para este tipo de material si representa un aumento, a pesar de que la cohesión disminuya.
- Los parámetros de resistencia al corte de los suelos estudiados sin refuerzo fueron los siguientes: Zahorra: ángulo de fricción interna:  $33,76^\circ$ , cohesión:  $1,23 \text{ Kg/Cm}^2$ , para la Arcilla: ángulo de fricción interna:  $12,62^\circ$  y cohesión:  $0,33 \text{ Kg/Cm}^2$ .

- Los parámetros de resistencia al corte en los suelos con adición de geo textil en proporción del 0,25% fueron: Zahorra: ángulo de fricción interna:  $37,92^\circ$  y cohesión:  $0,76 \text{ Kg/Cm}^2$ , lo cual mostro un aumento del 12,32% en el ángulo de fricción interna y una disminución del 61,78% en la cohesión. Para la Arcilla: ángulo de fricción interna:  $21,06^\circ$  y cohesión:  $0,21 \text{ Kg/Cm}^2$ . Por lo tanto se observó un aumento del 66,8% en el ángulo de fricción interna y 63,36% menos en la cohesión con respecto al suelo sin adición de geo textil tejido T-2400.
- Los parámetros de resistencia al corte en los suelos con adición de geotextil en proporción del 0,50% fueron: Zahorra: ángulo de fricción interna:  $38,42^\circ$  y cohesión:  $0,63 \text{ Kg/Cm}^2$ , lo cual mostro un aumento del 13,80% en el ángulo de fricción interna y una disminución del 51,21% en la cohesión. Para la Arcilla: ángulo de fricción interna:  $21,34^\circ$  y cohesión:  $0,17 \text{ Kg/Cm}^2$ . Por lo tanto se observó un aumento del 69,09% en el ángulo de fricción interna y 51,51% menos en la cohesión con respecto al suelo sin adición de geotextil tejido T-2400.
- Los parámetros de resistencia al corte en los suelos con adición de geotextil en proporción del 0,75% fueron: Zahorra: ángulo de fricción interna:  $36,35^\circ$  y cohesión:  $0,33 \text{ Kg/Cm}^2$ , lo cual mostro un aumento del 7,67% en el ángulo de fricción interna y una disminución del 51,21% en la cohesión. Para la Arcilla: ángulo de fricción interna:  $20,20^\circ$  y cohesión:  $0,31 \text{ Kg/Cm}^2$ . Por lo tanto se observó un aumento del 60,06% en el ángulo de fricción interna y 7,67% menos en la cohesión con respecto al suelo sin adición de geotextil tejido T-2400.
- El porcentaje óptimo como se vio en la variación de los ángulos de fricción interna de los distintos tipos de materiales fue de 0,5% en relación a su peso, aunque la adición de geotextil tejido T-2400 produjo una disminución de la cohesión.
- Para el caso de los CBR se observó que para una adición aproximada entre 14% y 15% en relación al volumen de geotextil tejido T-2400, se alcanzaron los mayores valores de resistencia para todos los materiales utilizados en este trabajo, para el



caso de la zahorra que tuvo un CBR de 32,6%, para la arenas fue 24,4% y para la arcilla de 4,0%, lo cual presento un aumento en el CBR para la zahorra de 4.8%, para la arena significativo un aumento del 14.55 % y para la arcilla del 48.5%

- El aumento en el CBR para el caso del material tipo zahorra no es representativo para dar una variación en el espesor de las capas de pavimento, por esta razón no es viable reforzar este material con este tipo de geotextil.
- En el material tipo arena el aumento en el CBR es más representativo que en la zahorra, pero no justifica económicamente la adición de fibra de geotextil para el aumento de su capacidad.
- Aunque en el material tipo arcilla el aumento del CBR alcanza casi el 50%, al realizar el diseño de pavimento se obtuvo una disminución en el espesor de 0.25cm en la capa concreto, pero al incluir la fibra de geotextil en el análisis de precios unitarios el precio del metro cuadrado de pavimento aumenta aproximadamente \$20.000, lo cual lo vuelve innecesario.
- En el Caso de la obtención de la densidad máxima seca se puede concluir que tuvo un aumento significativo con la adición de fibra de geotextil entre valores de 14% a 15% dando como resultado, para la zahorra 126.45 Lb/pie<sup>3</sup>, para la arcilla 102.44 Lb/pie<sup>3</sup> y para la arena 147.45 Lb/pie<sup>3</sup>, lo cual representó un aumento en su densidad del 2.2%, 2.48% y 4.2% respectivamente.
- La adición de fibra de geotextil T2400 no es rentable en ninguno de los materiales que fueron objeto de estudios ya que el aumento en los CBR's es mínima y el aumento de la utilización de este material es muy alto.

## 6 RECOMENDACIONES

- Para lograr una mezcla homogénea del suelo y las fibras de geotextil, se recomienda mezclar inicialmente el suelo con el geotextil y, posteriormente adicionar el agua requerida.
- Llevar a cabo más investigaciones de este tipo. Utilizando diferentes tipos de suelos con ángulos de fricción interna bajos, adicionándoles otros tipos de geotextil, en diferentes longitudes y proporciones, y diferentes tipos de materiales como l viruta de acero, fibras de tela, fibras de carbono, entre otros.
- Para disminuir costos en la implementación de este tipo de sistema se recomienda plantear esta u otras investigaciones a los fabricantes para que suministren la materia prima con las especificaciones deseadas y analizar si sería rentable su implementación.
- Para futuras investigaciones se recomienda medir parámetros como permeabilidad ya que en el alcance de este no se planteó este interrogante.
- Se recomienda usar otro tipo de materiales de construcción como hormigón, mortero estructural, etc.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- ALY AHMEDA, K. U. (2012). *Investigation of recycled gypsum in conjunction with waste plastic trays for ground improvement*. GUNMA, JAPON.
- Botasso, G., Fensel, E., & Ricci, L. (s.f.). *Caracterizacion de Geosinteticos para uso vial*. La Plata.
- DAS, B. M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. SACRAMENTO, CALIFORNIA: Cengage Learning Latin America.
- Esmaili, D., Harami, K., & Miller, G. (2014). Influence of matric suction on geotextile reinforcement-marginal soilinterface strength. *Elservier*, 1-8.
- Fonseca, A. M. (2008). *INGENIERIA DE PAVIMENTOS Fundamentos, estudios basicos y diseño*. (Tercera ed.). Bogota: Universidad Catolica de Colombia.
- GEOFIX. (2015). BARCELONA, ANDALUCIA, ESPAÑA.
- Guerra, A. J. (2014). *ESTABILIZACIÓN MECÁNICA DE SUELOS COHESIVOS A TRAVÉS*. Guatemala.
- Hernandez, M. U. (Junio de 2012). Obtenido de [http://www.rocamix.es/TESIS/hernandez\\_utria\\_mailin.pdf](http://www.rocamix.es/TESIS/hernandez_utria_mailin.pdf)
- INVIAS. (2014). *unicauca*. Obtenido de [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-148-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-148-07.pdf)
- KOERNER, R., & KOERNER, G. (11 de Marzo de 2015). Lessons learned from geotextile filter failures under challenging field conditions. Folsom, USA.
- KUTTAHA, D., & SATOB, K. (27 de JUNIO de 2015). Review on the effect of gypsum content on soil bahavior. FUKUOKA, JAPON.

LEON, C. Y. (2015). GEOSINTETICOS.

López, Á. L. (15 de junio de 2006). Obtenido de <http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Articulos%20Tecnicos/Geosinteticos.pdf>

Mejía Florez, L., & Caro Spinel, S. (5 de Noviembre de 2015). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/13620/1/1181-7183-1-PB.pdf>

MORENO CÁCERES, D., & RAMÍREZ FORERO, R. (2010). *MEJORAMIENTO DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA EN ARENAS ARCILLOSAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400*. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA , Bogota.

Noorzad, R., & Mirmoradi, S. H. (2010). Laboratory evaluation of the behavior of a geotextile reinforced clay. *Elsevier*, 1-9.

PIRULLI, M. (2010). Morphology and Substrate Control on the Dynamics of Flowlike Landslides. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1-4.

RUSSELL, A. (3 de MARZO de 2010). A brief summary of the Science & Technology Committee's "ClimateGate" hearing. ENGLAND.

Subhi, H. M. (1988). *The properties of salt contaminated soils : and their influence on the performance of roads in Iraq*. Londres.

TRIANA RODRIGUEZ , C., & VILLAMIZAR DUARTE, D. (2010). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE SUELOS ARCILLOSOS DESPUES DE LA ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T- 2400*. Bogota: UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

wikipedia. (Marzo de 2014). Obtenido de <https://en.wikipedia.org/wiki/Geotextile>

# **ANEXOS**



# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingeniería Civil  
GEOMAVIT

## LIMITES DE ATTERBERG - GRANULOMETRIA

ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

ALCIDES HUETO GUERRERO-ANDRES MONTOYA MANJARRES  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL-UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

MUESTRA : ZAHORRA AMARILLENTA

UBICACIÓN MATERIAL : PALMARITO -TURBACO-

### LIMITE LIQUIDO

| NUMERO DE GOLPES          | 37    | 25    | 14    |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| RECIPIENTE No.            | 19    | 20    | 21    |
| PESO RECIP.+MATER. HUMEDO | 60.21 | 62.33 | 64.59 |
| PESO RECIP.+MATER. SECO   | 51.55 | 52.85 | 53.86 |
| PESO DEL AGUA             | 8.66  | 9.48  | 10.73 |
| PESO DEL RECIPIENTE       | 20.50 | 20.50 | 21.05 |
| PESO DEL MATERIAL SECO    | 31.05 | 32.35 | 32.81 |
| % DE HUMEDAD              | 27.90 | 29.30 | 32.70 |
| LIMITE LIQUIDO            | 29.41 | 29.31 | 30.41 |

### LIMITE PLASTICO

| RECIPIENTE No.          | 22    | 23    | 25    |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| PESO RECIP.+MATER. HUM  | 45.32 | 43.19 | 41.67 |
| PESO RECIP.+MATER. SECO | 40.95 | 39.04 | 37.72 |
| PESO DEL AGUA           | 4.37  | 4.15  | 3.95  |
| PESO DEL RECIPIENTE     | 19.00 | 19.00 | 19.02 |
| PESO DEL MATERIAL SECO  | 21.95 | 20.04 | 18.70 |
| % DE HUMEDAD            | 19.90 | 20.70 | 21.10 |

### RESUMEN

|                 |      |
|-----------------|------|
| LIMITE LIQUIDO  | 29.7 |
| LIMITE PLASTICO | 20.6 |
| INDICE PLASTICO | 9.1  |

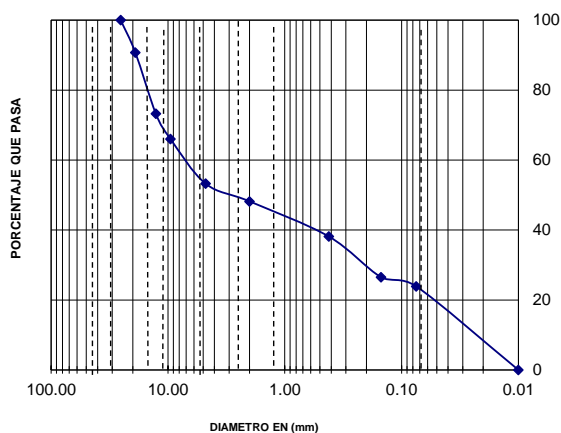
### CLASIFICACION

|         |         |
|---------|---------|
| ASSHTO: | A -2- 7 |
| USC:    | SC      |

### GRANULOMETRIA

| P1 grs.= | 300       | P2 grs.= |         | 148.07 |
|----------|-----------|----------|---------|--------|
| TAMIZ    | PESO RET. | %        | % RETE. | %      |
| in.      | grs.      | RETENIDO | ACUMUL  | PASA   |
| 1        | 0.00      | 0.00     | 0.00    | 100.00 |
| 3/4      | 27.90     | 9.30     | 9.30    | 90.70  |
| 1/2      | 52.33     | 17.44    | 26.74   | 73.26  |
| 3/8      | 21.70     | 7.23     | 33.98   | 66.02  |
| 4        | 38.33     | 12.78    | 46.75   | 53.25  |
| 10       | 15.21     | 5.07     | 51.82   | 48.18  |
| 40       | 30.07     | 10.02    | 61.85   | 38.15  |
| 100      | 34.88     | 11.63    | 73.47   | 26.53  |
| 200      | 7.88      | 2.63     | 76.10   | 23.90  |
| FONDO    | 151.93    |          |         |        |

### CURVA GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES:

**TRABAJO DE GRADO**  
**Programa de Ingeniería Civil**  
**GEOMAVIT**

**LIMITES DE ATTERBERG - GRANULOMETRIA**

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

ALCIDES HUETO GUERRERO-ANDRES MONTOYA MANJARRES  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL-UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**MUESTRA : ARENA**

**UBICACIÓN MATERIAL : ROTINET -ARROYO PIEDRA-**

**LIMITE LIQUIDO**

|                           |  |      |  |
|---------------------------|--|------|--|
| NUMERO DE GOLPES          |  |      |  |
| RECIPIENTE No.            |  |      |  |
| PESO RECIP.+MATER. HUMEDO |  |      |  |
| PESO RECIP.+MATER. SECO   |  |      |  |
| PESO DEL AGUA             |  | N.P. |  |
| PESO DEL RECIPIENTE       |  |      |  |
| PESO DEL MATERIAL SECO    |  |      |  |
| % DE HUMEDAD              |  |      |  |
| LIMITE LIQUIDO            |  |      |  |

**LIMITE PLASTICO**

|                         |  |      |  |
|-------------------------|--|------|--|
| RECIPIENTE No.          |  |      |  |
| PESO RECIP.+MATER. HUM  |  |      |  |
| PESO RECIP.+MATER. SECO |  |      |  |
| PESO DEL AGUA           |  | N.P. |  |
| PESO DEL RECIPIENTE     |  |      |  |
| PESO DEL MATERIAL SECO  |  |      |  |
| % DE HUMEDAD            |  |      |  |

**RESUMEN**

|                 |    |
|-----------------|----|
| LIMITE LIQUIDO  | NP |
| LIMITE PLASTICO | NP |
| INDICE PLASTICO | NP |

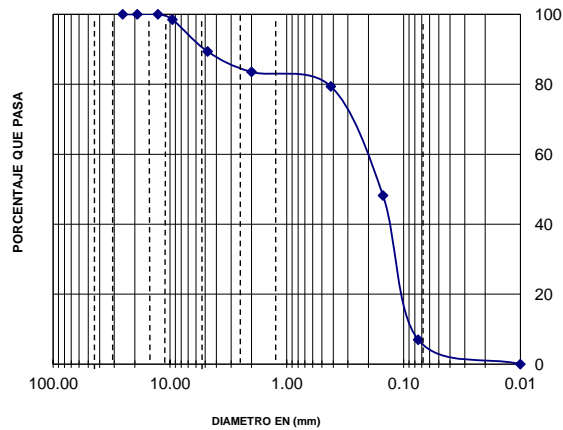
**CLASIFICACION**

|         |       |
|---------|-------|
| ASSHTO: | S - 3 |
| USC:    | SP    |

**GRANULOMETRIA**

| P1 grs.= | 300       | P2 grs.= 279.05 |         |        |
|----------|-----------|-----------------|---------|--------|
| TAMIZ    | PESO RET. | %               | % RETE. | %      |
| in.      | grs.      | RETENIDO        | ACUMUL  | PASA   |
| 1        | 0.00      | 0.00            | 0.00    | 100.00 |
| 3/4      | 0.00      | 0.00            | 0.00    | 100.00 |
| 1/2      | 0.00      | 0.00            | 0.00    | 100.00 |
| 3/8      | 4.56      | 1.52            | 1.52    | 98.48  |
| 4        | 27.34     | 9.11            | 10.63   | 89.37  |
| 10       | 17.55     | 5.85            | 16.48   | 83.52  |
| 40       | 12.34     | 4.11            | 20.60   | 79.40  |
| 100      | 93.72     | 31.24           | 51.84   | 48.16  |
| 200      | 123.54    | 41.18           | 93.02   | 6.98   |
| FONDO    | 20.95     |                 |         |        |

**CURVA GRANULOMETRICA**







# TRABAJO DE GRADO

## Programa de Ingenieria Civil

### GEOMAVIT

#### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

#### ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

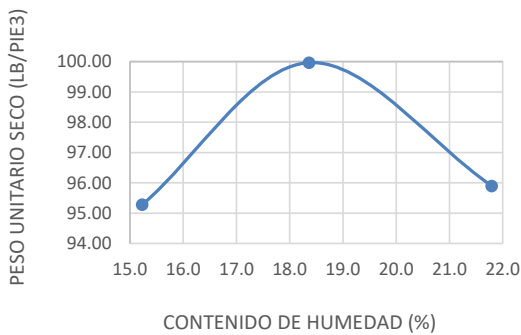
DESCRIPCIÓN: ARCILLA PARDA CON VETAS AMARILLAS

Peso martillo : 10 lbs Altura caída : 18" Diámetro Molde : 4"  
 No. de capas : 5 No. de golpes : 25 Altura Muestra : 4,6"

| DENSIDAD                                       | 1       | 2       | 3       |  |  |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 3551    | 3680    | 3657    |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890    | 1890    | 1890    |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 1661.00 | 1790.00 | 1767.00 |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.760   | 1.896   | 1.872   |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 1.53    | 1.60    | 1.54    |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 95.28   | 99.96   | 95.90   |  |  |

| HUMEDAD                             | 1     | 2     | 3     |  |  |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 236.7 | 231.8 | 204.6 |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 220.4 | 205.5 | 180.9 |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 16.3  | 26.3  | 23.7  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 113.6 | 62.5  | 72.1  |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 106.8 | 143.0 | 108.8 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 15.2  | 18.4  | 21.8  |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| <b>DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)=</b> | <b>99.96</b> |
| <b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)=</b>  | <b>1.60</b>  |
| <b>HUMEDAD OPTIMA (%) =</b>       | <b>18.4</b>  |

# TRABAJO DE GRADO

## Programa de Ingenieria Civil GEOMAVIT

### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

#### ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN: ARENA

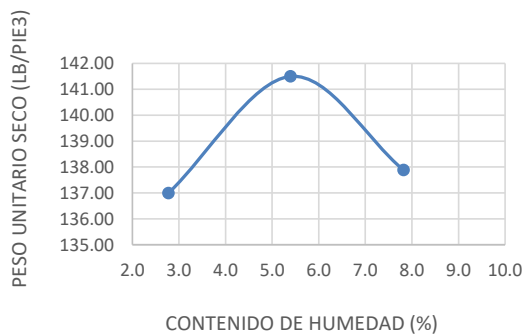
Peso martillo : 10 lbs                      Altura caída : 18"                      Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5                              No. de golpes : 25                      Altura Muestra : 4,6"

| DENSIDAD                                       | 1       | 2       | 3       |  |  |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 4020    | 4146    | 4139    |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890.00 | 1890.00 | 1890.00 |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 2130.00 | 2256.00 | 2249.00 |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 2.256   | 2.390   | 2.382   |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 2.20    | 2.27    | 2.21    |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 136.99  | 141.50  | 137.88  |  |  |

| HUMEDAD                             | 1      | 2      | 3      |  |  |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 172.3  | 186.6  | 299.8  |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 168.7  | 179.1  | 281.1  |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 3.60   | 7.50   | 18.70  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 39.0   | 40     | 42     |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 129.70 | 139.10 | 239.10 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 2.8    | 5.4    | 7.8    |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                            |        |
|----------------------------|--------|
| DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)= | 141.50 |
| DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)=  | 2.27   |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =       | 5.4    |

# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingenieria Civil

GEOMAVIT

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

## ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN: **ZAHORRA AMARILLENTA** Porcentaje de geotextil 7%

Peso martillo : 10 lbs                      Altura caída : 18"                      Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5                      No. de golpes : 25                      Altura Muestra : 4,6"

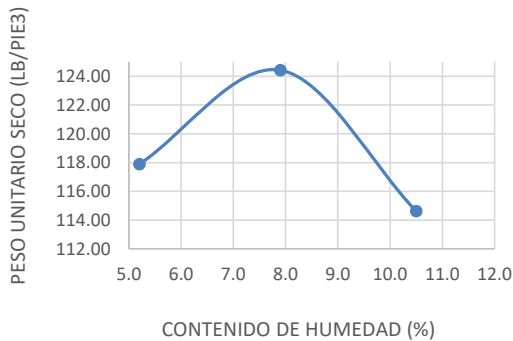
### DENSIDAD

|                                                | 1      | 2      | 3      |  |  |
|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 3766   | 3921   | 3806   |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890   | 1890   | 1890   |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 1876   | 2031   | 1916   |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.987  | 2.151  | 2.030  |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 1.89   | 1.99   | 1.84   |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 117.88 | 124.42 | 114.62 |  |  |

### HUMEDAD

|                                     | 1      | 2      | 3      |  |  |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 492.3  | 445.3  | 469.4  |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 468.9  | 414.1  | 426.6  |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 23.43  | 31.25  | 42.76  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 18.2   | 18.5   | 19.4   |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 450.67 | 395.55 | 407.24 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 5.2    | 7.9    | 10.5   |  |  |

### RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                            |        |
|----------------------------|--------|
| DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)= | 124.42 |
| DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)=  | 1.99   |
| HUMEDAD OPTIMA (%)=        | 7.9    |

# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingeniería Civil  
GEOMAVIT

## ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

DESCRIPCIÓN:                      **ARCILLA PARDA CON VETAS AMARILLAS**                      7% geotextil

Peso martillo : 10 lbs                      Altura caída : 18"                      Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5                      No. de golpes : 25                      Altura Muestra : 4,6"

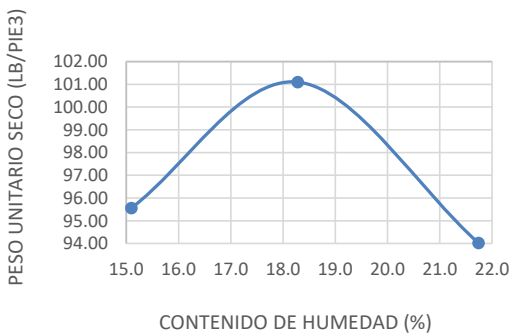
### DENSIDAD

|                                                | 1       | 2       | 3       |  |  |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 3554    | 3699    | 3622    |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890    | 1890    | 1890    |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 1664.00 | 1809.00 | 1731.57 |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.763   | 1.916   | 1.834   |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 1.53    | 1.62    | 1.51    |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 95.56   | 101.10  | 94.02   |  |  |

### HUMEDAD

|                                     | 1     | 2     | 3     |  |  |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 235.8 | 231.6 | 204.6 |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 219.8 | 205.5 | 180.9 |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 16.0  | 26.1  | 23.7  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 113.6 | 62.5  | 72.1  |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 106.2 | 143.0 | 108.8 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 15.1  | 18.3  | 21.7  |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| <b>DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)=</b> | <b>101.10</b> |
| <b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)=</b>  | <b>1.62</b>   |
| <b>HUMEDAD OPTIMA (%) =</b>       | <b>18.3</b>   |

# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingenieria Civil  
GEOMAVIT

## ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

### ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN:                      **ARENA**                                      Porcentaje de geotextil                      7%

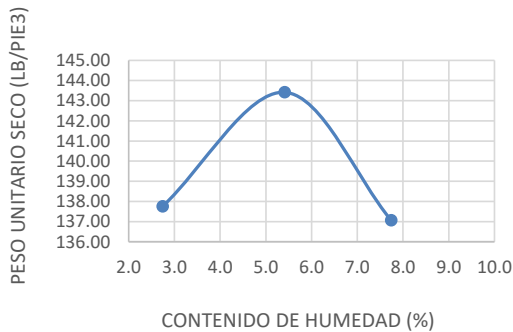
Peso martillo : 10 lbs                      Altura caída : 18"                      Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5                      No. de golpes : 25                      Altura Muestra : 4,6"

| DENSIDAD                                       | 1       | 2       | 3       |  |  |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 4031    | 4177    | 4124    |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890.00 | 1890.00 | 1890.00 |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 2141.00 | 2287.00 | 2234.00 |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 2.268   | 2.423   | 2.367   |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 2.21    | 2.30    | 2.20    |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 137.75  | 143.42  | 137.06  |  |  |

| HUMEDAD                             | 1      | 2      | 3      |  |  |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 172.25 | 186.63 | 299.61 |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 168.70 | 179.10 | 281.10 |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 3.55   | 7.53   | 18.51  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 39.0   | 40     | 42     |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 129.70 | 139.10 | 239.10 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 2.7    | 5.4    | 7.7    |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                            |        |
|----------------------------|--------|
| DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)= | 143.42 |
| DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)=  | 2.30   |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =       | 5.4    |

# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingenieria Civil  
GEOMAVIT

## ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

### ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN: **ZAHORRA AMARILLENTA** Porcentaje de geotextil 14%

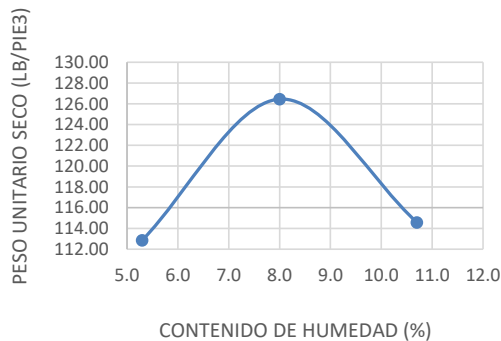
Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 25      Altura Muestra : 4,6"

| DENSIDAD                                       | 1      | 2      | 3      |  |  |
|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 3688   | 3956   | 3809   |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890   | 1890   | 1890   |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 1798   | 2066   | 1919   |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.905  | 2.189  | 2.033  |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 1.81   | 2.03   | 1.84   |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 112.87 | 126.45 | 114.59 |  |  |

| HUMEDAD                             | 1      | 2      | 3      |  |  |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 488.4  | 415.6  | 452.9  |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 464.7  | 386.2  | 411.0  |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 23.68  | 29.40  | 41.88  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 17.9   | 18.7   | 19.6   |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 446.82 | 367.50 | 391.42 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 5.3    | 8.0    | 10.7   |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)= 126.45

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)= 2.03

HUMEDAD OPTIMA (%) = 8.0

# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingenieria Civil

## GEOMAVIT

### ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

#### ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN: **ARCILLA PARDA CON VETAS AMARILLAS** 14% geotextil

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 25      Altura Muestra : 4,6"

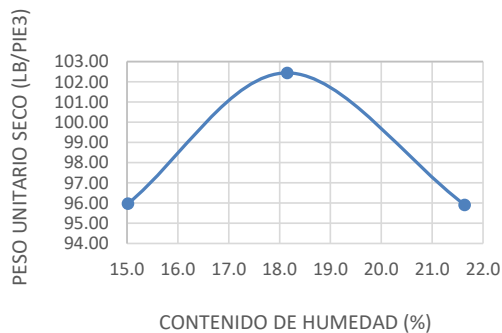
#### DENSIDAD

|                                                | 1       | 2       | 3       |  |  |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 3560    | 3721    | 3655    |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890    | 1890    | 1890    |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 1670.00 | 1831.00 | 1765.00 |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.769   | 1.940   | 1.870   |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 1.54    | 1.64    | 1.54    |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 95.97   | 102.44  | 95.91   |  |  |

#### HUMEDAD

|                                     | 1     | 2     | 3     |  |  |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 236.4 | 231.5 | 204.5 |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 220.4 | 205.5 | 180.9 |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 16.0  | 26.0  | 23.5  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 113.6 | 62.5  | 72.1  |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 106.8 | 143.0 | 108.8 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 15.0  | 18.2  | 21.6  |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                            |        |
|----------------------------|--------|
| DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)= | 102.44 |
| DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)=  | 1.64   |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =       | 18.2   |



# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingenieria Civil  
GEOMAVIT

## ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

### ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN: **ARENA** Porcentaje de geotextil 14%

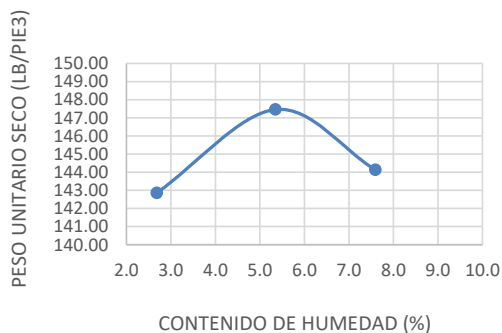
Peso martillo : 10 lbs Altura caída : 18" Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5 No. de golpes : 25 Altura Muestra : 4,6"

| DENSIDAD                                       | 1       | 2       | 3       |  |  |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 4109    | 4240    | 4236    |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890.00 | 1890.00 | 1890.00 |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 2219.00 | 2350.00 | 2346.00 |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 2.351   | 2.489   | 2.485   |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 2.29    | 2.36    | 2.31    |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 142.85  | 147.45  | 144.13  |  |  |

| HUMEDAD                             | 1      | 2      | 3      |  |  |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 172.2  | 186.4  | 299.2  |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 168.7  | 179.1  | 281.1  |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 3.5    | 7.3    | 18.1   |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 39.0   | 42     | 42     |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 129.70 | 137.10 | 239.10 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 2.7    | 5.3    | 7.6    |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                            |        |
|----------------------------|--------|
| DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)= | 147.45 |
| DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)=  | 2.36   |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =       | 5.3    |

# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingenieria Civil  
GEOMAVIT

## ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

### ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN: **ZAHORRA AMARILLENTA** Porcentaje de geotextil 21%

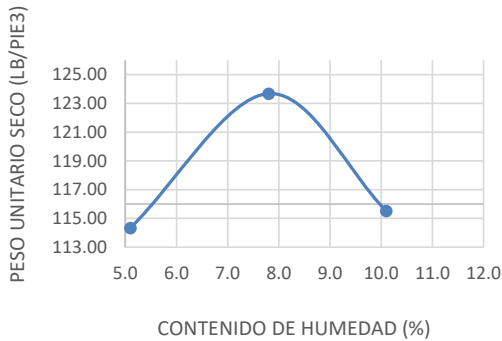
Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 25      Altura Muestra : 4,6"

| DENSIDAD                                       | 1      | 2      | 3      |  |  |
|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 3708   | 3907   | 3814   |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890   | 1890   | 1890   |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 1818   | 2017   | 1924   |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.926  | 2.137  | 2.038  |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 1.83   | 1.98   | 1.85   |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 114.34 | 123.68 | 115.51 |  |  |

| HUMEDAD                             | 1      | 2      | 3      |  |  |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 479.6  | 412.4  | 448.1  |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 457.2  | 383.9  | 408.8  |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 22.40  | 28.49  | 39.31  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 17.9   | 18.7   | 19.6   |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 439.30 | 365.21 | 389.19 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 5.1    | 7.8    | 10.1   |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)= 123.68

DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)= 1.98

HUMEDAD OPTIMA (%) = 7.8

# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingenieria Civil

GEOMAVIT

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

## ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN: **ARCILLA PARDA CON VETAS AMARILLAS** 21% geotextil

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 25      Altura Muestra : 4,6"

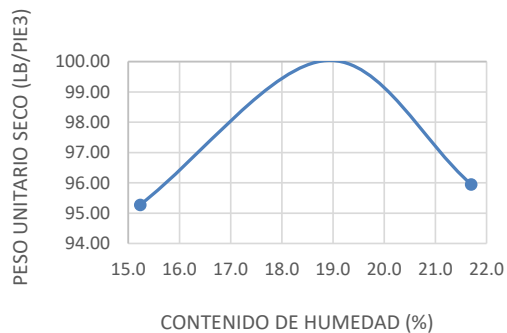
### DENSIDAD

|                                                | 1       | 2       | 3       |  |  |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 3550.94 | 3689.00 | 3656.59 |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890    | 1890    | 1890    |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 1660.94 | 1799.00 | 1766.59 |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.759   | 1.906   | 1.871   |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 1.53    | 1.60    | 1.54    |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 95.28   | 100.03  | 95.95   |  |  |

### HUMEDAD

|                                     | 1     | 2     | 3     |  |  |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 236.7 | 232.5 | 204.5 |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 220.4 | 205.5 | 180.9 |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 16.3  | 27.0  | 23.6  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 113.6 | 62.5  | 72.1  |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 106.8 | 143.0 | 108.8 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 15.2  | 18.9  | 21.7  |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| <b>DENSIDAD MAXIMA (lb/pie3)=</b> | <b>100.03</b> |
| <b>DENSIDAD MAXIMA (gr/cm3)=</b>  | <b>1.60</b>   |
| <b>HUMEDAD OPTIMA (%) =</b>       | <b>18.9</b>   |

# TRABAJO DE GRADO

Programa de Ingenieria Civil  
GEOMAVIT

## ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

### ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS

DESCRIPCIÓN: **ARENA** Porcentaje de geotextil 21%

Peso martillo : 10 lbs Altura caída : 18" Diámetro Molde : 4"

No. de capas : 5 No. de golpes : 25 Altura Muestra : 4,6"

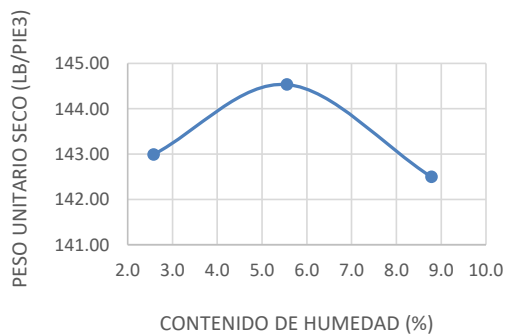
#### DENSIDAD

|                                                | 1       | 2       | 3       |  |  |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|--|--|
| Peso molde + suelo compactado (gr)             | 4109    | 4198    | 4235    |  |  |
| Peso molde (gr)                                | 1890.00 | 1890.00 | 1890.00 |  |  |
| Peso suelo compactado                          | 2219.00 | 2308.00 | 2345.00 |  |  |
| Densidad suelo humedo (gr/cm <sup>3</sup> )    | 2.351   | 2.445   | 2.484   |  |  |
| Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )      | 2.29    | 2.32    | 2.28    |  |  |
| Densidad de suelo seco (lbs/pie <sup>3</sup> ) | 142.99  | 144.53  | 142.49  |  |  |

#### HUMEDAD

|                                     | 1      | 2      | 3      |  |  |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--|--|
| Peso recipiente + suelo humedo (gr) | 172.05 | 187.20 | 302.10 |  |  |
| Peso recipiente + suelo seco (gr)   | 168.70 | 179.40 | 281.10 |  |  |
| Peso agua evaporada (gr)            | 3.35   | 7.80   | 21.00  |  |  |
| Peso recipiente (gr)                | 39.0   | 39     | 42     |  |  |
| Peso suelo seco (gr)                | 129.70 | 140.40 | 239.10 |  |  |
| Contenido humedad (%)               | 2.6    | 5.6    | 8.8    |  |  |

RELACION HUMEDAD-PESO UNITARIO



|                                         |        |
|-----------------------------------------|--------|
| DENSIDAD MAXIMA (lb/pie <sup>3</sup> )= | 144.53 |
| DENSIDAD MAXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )=  | 2.32   |
| HUMEDAD OPTIMA (%) =                    | 5.6    |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ARCILLA ARENOSA AMARILLA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 0%

Peso martillo : 10 lbs

Altura caída : 18"

Diámetro Molde : 6"

Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5

No. de golpes : 55, 25, 10

Altura Muestra : 7"

|                                | No. Golpes   |              |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>DENSIDAD</b>                | 55           | 25           | 10           |
| Molde No                       | 1            | 2            | 3            |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)    | 6897         | 6860         | 6810         |
| Peso Molde (Gr)                | 2880         | 2880         | 2880         |
| Peso Suelo Comp. (Gr)          | 4017         | 3980         | 3930         |
| Densidad Humeda (Lb/pie3)      | 118.24       | 117.15       | 115.68       |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie3)</b> | <b>99.82</b> | <b>99.17</b> | <b>98.68</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm3)         | 1.60         | 1.59         | 1.58         |

|                                 | No. Golpes   |              |              |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55           | 25           | 10           |
| Molde No                        | 1            | 2            | 3            |
| Recipiente No                   | 4            | 5            | 6            |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00       | 500.00       | 500.00       |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 425.00       | 426.00       | 429.00       |
| Peso Recipiente                 | 18.60        | 17.90        | 16.80        |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>18.45</b> | <b>18.13</b> | <b>17.22</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

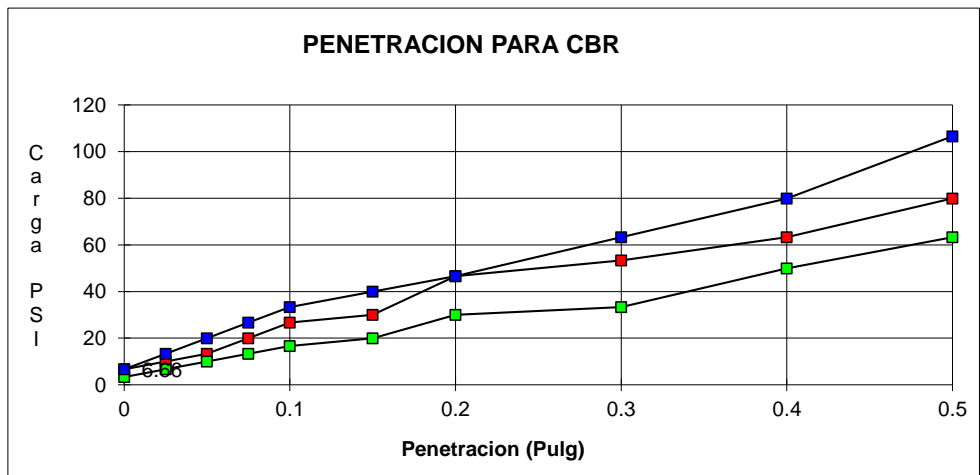
MATERIAL: ARCILLA ARENOSA AMARILLA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 0%

| PENETRACION CBR |             | 55      |            | 25      |            | 10      |            |
|-----------------|-------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura | Carga      | Lectura | Carga      | Lectura | Carga      |
| 0 seg           | 0           | 0       | 0          | 0       | 0          | 0       | 0          |
| 30 seg          | 0.025       | 2       | 7          | 2       | 7          | 2       | 7          |
| 1 min           | 0.050       | 4       | 13         | 3       | 10         | 3       | 10         |
| 1.5 min         | 0.075       | 6       | 20         | 4       | 13         | 4       | 13         |
| 2 min           | 0.100       | 8       | 27         | 6       | 20         | 5       | 17         |
| 3 min           | 0.150       | 10      | 33         | 7       | 23         | 6       | 20         |
| 4 min           | 0.200       | 12      | 40         | 11      | 37         | 7       | 23         |
| 6 min           | 0.300       | 16      | 53         | 13      | 43         | 13      | 43         |
| 8 min           | 0.400       | 20      | 67         | 16      | 53         | 14      | 47         |
| 10 min          | 0.500       | 29      | 97         | 22      | 73         | 19      | 63         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |         | <b>2.7</b> |         | <b>2.0</b> |         | <b>1.7</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |         | <b>2.7</b> |         | <b>2.4</b> |         | <b>1.6</b> |

|                   |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|
| Densidad Maxima = | 1.60 | 1.59 | 1.58 |
| Maximo CBR=       | 2.7  | 2.4  | 1.55 |



CONCLUSIONES:

|            |     |
|------------|-----|
| CBR 100% = | 2.7 |
| CBR 95% =  | 2.4 |
| CBR 90% =  | 1.6 |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| HUMEDAD OPTIMA=           | 18.45 |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pic3) | 99.82 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)  | 1.60  |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ARCILLA ARENOSA AMARILLA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 7%

Peso martillo : 10 lbs

Altura caída : 18"

Diámetro Molde : 6"

Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5

No. de golpes : 55, 25, 10

Altura Muestra : 7"

|                                           | No. Golpes    |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                           | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                                  | 4             | 5             | 6             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)               | 6985          | 6980          | 7111          |
| Peso Molde (Gr)                           | 2900          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)                     | 4085          | 4100          | 4231          |
| Densidad Humeda (Lb/pie <sup>3</sup> )    | 120.24        | 120.68        | 124.54        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie<sup>3</sup>)</b> | <b>101.74</b> | <b>103.40</b> | <b>104.92</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm <sup>3</sup> )       | 1.63          | 1.66          | 1.68          |

|                                 | No. Golpes   |              |              |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55           | 25           | 10           |
| Molde No                        | 4            | 5            | 6            |
| Recipiente No                   | 8            | 9            | 10           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00       | 500.00       | 500.00       |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 426.00       | 431.00       | 424.00       |
| Peso Recipiente                 | 19.00        | 18.20        | 17.60        |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>18.18</b> | <b>16.72</b> | <b>18.70</b> |

# ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE

## GEOMAVIT

### RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)

#### ESTUDIANTES:

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

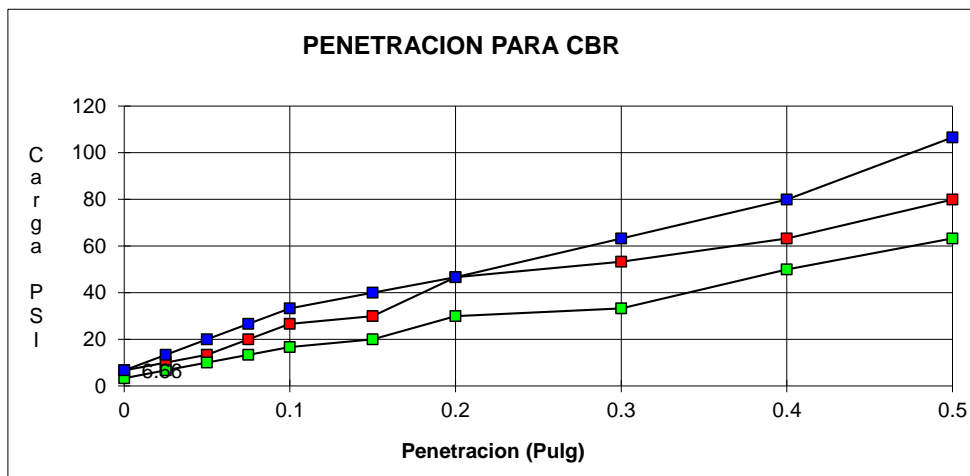
MATERIAL: ARCILLA ARENOSA AMARILLA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 7%

| PENETRACION CBR |             | 55      |       | 25      |       | 10      |       |
|-----------------|-------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura | Carga | Lectura | Carga | Lectura | Carga |
| 0 seg           | 0           | 3       | 10    | 3       | 10    | 2       | 7     |
| 30 seg          | 0.025       | 4       | 13    | 4       | 13    | 3       | 10    |
| 1 min           | 0.050       | 7       | 23    | 6       | 20    | 4       | 13    |
| 1.5 min         | 0.075       | 9       | 30    | 8       | 27    | 5       | 17    |
| 2 min           | 0.100       | 11      | 37    | 9       | 30    | 6       | 20    |
| 3 min           | 0.150       | 12      | 40    | 11      | 37    | 8       | 27    |
| 4 min           | 0.200       | 15      | 50    | 14      | 47    | 9       | 30    |
| 6 min           | 0.300       | 20      | 67    | 17      | 57    | 12      | 40    |
| 8 min           | 0.400       | 26      | 87    | 21      | 70    | 17      | 57    |
| 10 min          | 0.500       | 35      | 117   | 26      | 87    | 22      | 73    |
| CBR 0.1=        |             |         | 3.7   |         | 3.0   |         | 2.0   |
| CBR 0.2=        |             |         | 3.3   |         | 3.1   |         | 2.0   |

|                   |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|
| Densidad Maxima = | 1.63 | 1.66 | 1.68 |
| Maximo CBR=       | 3.7  | 3.1  | 2.00 |



CONCLUSIONES:

|            |     |
|------------|-----|
| CBR 100% = | 3.7 |
| CBR 95% =  | 3.1 |
| CBR 90% =  | 2.0 |

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| HUMEDAD OPTIMA=           | 18.18  |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pie3) | 101.74 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)  | 1.63   |



**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ARCILLA ARENOSA AMARILLA dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 14%

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 6"      Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 55, 25, 10      Altura Muestra : 7"

|                                           | No. Golpes    |              |              |
|-------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>DENSIDAD</b>                           | 55            | 25           | 10           |
| Molde No                                  | 7             | 8            | 9            |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)               | 6983          | 6915         | 6869         |
| Peso Molde (Gr)                           | 2880          | 2880         | 2880         |
| Peso Suelo Comp. (Gr)                     | 4103          | 4035         | 3989         |
| Densidad Humeda (Lb/pie <sup>3</sup> )    | 120.77        | 118.77       | 117.42       |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie<sup>3</sup>)</b> | <b>102.01</b> | <b>99.82</b> | <b>98.22</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm <sup>3</sup> )       | 1.63          | 1.60         | 1.57         |

|                                 | No. Golpes   |              |              |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55           | 25           | 10           |
| Molde No                        | 7            | 8            | 9            |
| Recipiente No                   | 1            | 2            | 3            |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00       | 500.00       | 500.00       |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 425.00       | 423.00       | 421.00       |
| Peso Recipiente                 | 17.30        | 17.50        | 16.80        |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>18.40</b> | <b>18.99</b> | <b>19.54</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

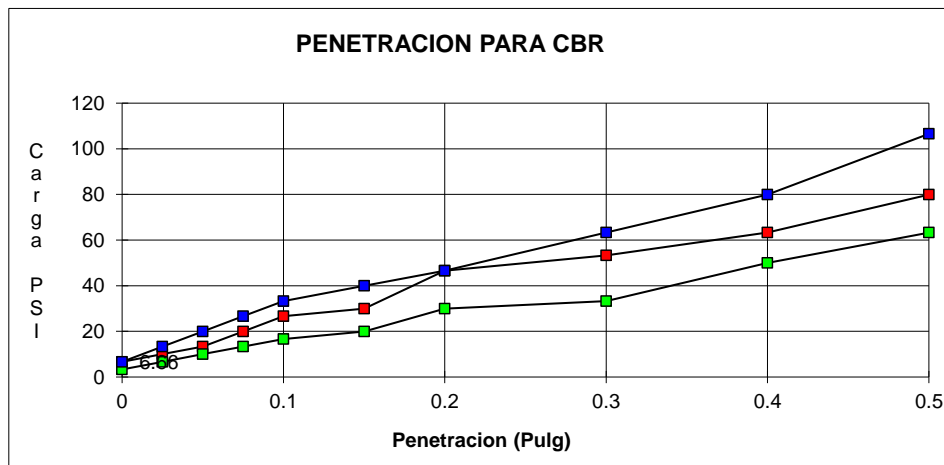
MATERIAL: ARCILLA ARENOSA AMARILLA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 14%

| PENETRACION CBR |             | 55      |            | 25      |            | 10      |            |
|-----------------|-------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura | Carga      | Lectura | Carga      | Lectura | Carga      |
| 0 seg           | 0           | 3       | 10         | 3       | 10         | 2       | 7          |
| 30 seg          | 0.025       | 5       | 17         | 4       | 13         | 4       | 13         |
| 1 min           | 0.050       | 9       | 30         | 7       | 23         | 6       | 20         |
| 1.5 min         | 0.075       | 10      | 33         | 9       | 30         | 7       | 23         |
| 2 min           | 0.100       | 12      | 40         | 10      | 33         | 8       | 27         |
| 3 min           | 0.150       | 14      | 47         | 12      | 40         | 9       | 30         |
| 4 min           | 0.200       | 17      | 57         | 16      | 53         | 11      | 37         |
| 6 min           | 0.300       | 21      | 70         | 20      | 67         | 14      | 47         |
| 8 min           | 0.400       | 27      | 90         | 22      | 73         | 18      | 60         |
| 10 min          | 0.500       | 36      | 120        | 27      | 90         | 24      | 80         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |         | <b>4.0</b> |         | <b>3.3</b> |         | <b>2.7</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |         | <b>3.8</b> |         | <b>3.6</b> |         | <b>2.4</b> |

|                   |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|
| Densidad Maxima = | 1.63 | 1.60 | 1.57 |
| Maximo CBR=       | 4.0  | 3.6  | 2.44 |



CONCLUSIONES:

|                   |            |
|-------------------|------------|
| <b>CBR 100% =</b> | <b>4.0</b> |
| <b>CBR 95% =</b>  | <b>3.6</b> |
| <b>CBR 90% =</b>  | <b>2.4</b> |

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| <b>HUMEDAD OPTIMA=</b>           | <b>18.40</b>  |
| <b>DENSIDAD MÁXIMA (lb/pie3)</b> | <b>102.01</b> |
| <b>DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)</b>  | <b>1.63</b>   |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ARCILLA ARENOSA AMARILLA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 21%

Peso martillo : 10 lbs

Altura caída : 18"

Diámetro Molde : 6"

Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5

No. de golpes : 55, 25, 10

Altura Muestra : 7"

|                                | No. Golpes    |              |              |
|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>DENSIDAD</b>                | 55            | 25           | 10           |
| Molde No                       | 10            | 11           | 12           |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)    | 6941          | 6920         | 6919         |
| Peso Molde (Gr)                | 2880          | 2880         | 2880         |
| Peso Suelo Comp. (Gr)          | 4061          | 4040         | 4039         |
| Densidad Humeda (Lb/pie3)      | 119.54        | 118.92       | 118.89       |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie3)</b> | <b>100.92</b> | <b>99.19</b> | <b>98.87</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm3)         | 1.62          | 1.59         | 1.58         |

|                                 | No. Golpes   |              |              |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55           | 25           | 10           |
| Molde No                        | 10           | 11           | 12           |
| Recipiente No                   | 4            | 5            | 6            |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00       | 500.00       | 500.00       |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 425.00       | 420.00       | 419.00       |
| Peso Recipiente                 | 18.40        | 17.80        | 19.00        |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>18.45</b> | <b>19.89</b> | <b>20.25</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

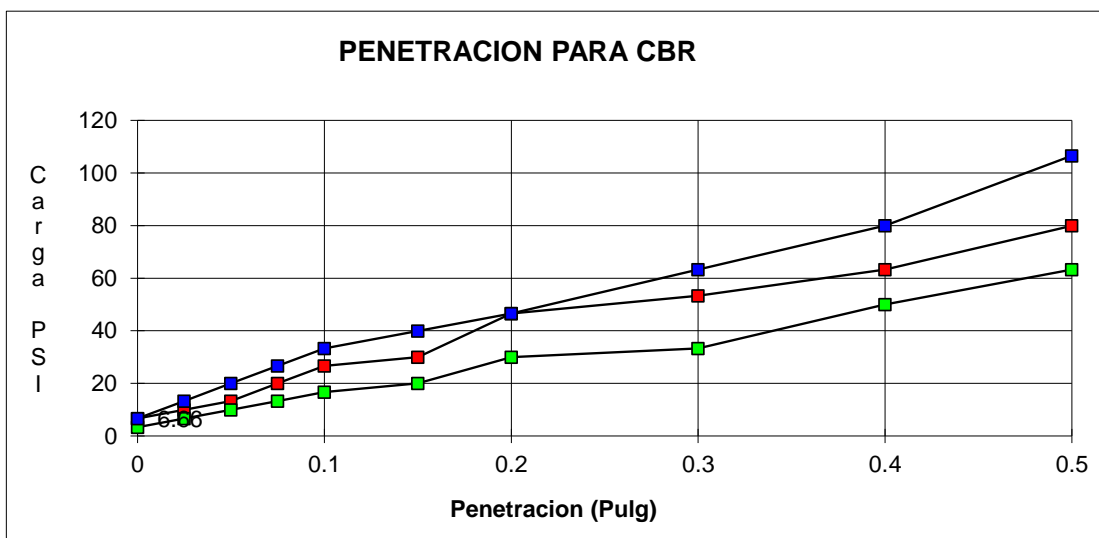
MATERIAL: ARCILLA ARENOSA AMARILLA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 21%

| PENETRACION CBR |             | 55      |            | 25      |            | 10      |            |
|-----------------|-------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura | Carga      | Lectura | Carga      | Lectura | Carga      |
| 0 seg           | 0           | 3       | 10         | 2       | 7          | 2       | 7          |
| 30 seg          | 0.025       | 5       | 17         | 4       | 13         | 3       | 10         |
| 1 min           | 0.050       | 8       | 27         | 7       | 23         | 6       | 20         |
| 1.5 min         | 0.075       | 9       | 30         | 8       | 27         | 7       | 23         |
| 2 min           | 0.100       | 10      | 33         | 9       | 30         | 8       | 27         |
| 3 min           | 0.150       | 13      | 43         | 11      | 37         | 9       | 30         |
| 4 min           | 0.200       | 16      | 53         | 14      | 47         | 10      | 33         |
| 6 min           | 0.300       | 19      | 63         | 16      | 53         | 12      | 40         |
| 8 min           | 0.400       | 24      | 80         | 21      | 70         | 17      | 57         |
| 10 min          | 0.500       | 34      | 113        | 24      | 80         | 22      | 73         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |         | <b>3.3</b> |         | <b>3.0</b> |         | <b>2.7</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |         | <b>3.6</b> |         | <b>3.1</b> |         | <b>2.2</b> |

|                   |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|
| Densidad Maxima = | 1.62 | 1.59 | 1.58 |
| Maximo CBR=       | 3.3  | 3.1  | 2.22 |



CONCLUSIONES:

|                   |            |
|-------------------|------------|
| <b>CBR 100% =</b> | <b>3.3</b> |
| <b>CBR 95% =</b>  | <b>3.1</b> |
| <b>CBR 90% =</b>  | <b>2.2</b> |

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>HUMEDAD OPTIMA=</b>          | <b>18.45</b>  |
| <b>DENSIDAD MÁXIMA (lb/pe3)</b> | <b>100.92</b> |
| <b>DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)</b> | <b>1.62</b>   |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ARENA dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 0%

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 6"      Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 55, 25, 10      Altura Muestra : 7"

|                                | No. Golpes    |               |               |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                       | 1             | 2             | 3             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)    | 7954          | 7901          | 7867          |
| Peso Molde (Gr)                | 2880          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)          | 5074          | 5021          | 4987          |
| Densidad Humeda (Lb/pie3)      | 149.35        | 147.79        | 146.79        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie3)</b> | <b>141.62</b> | <b>139.54</b> | <b>136.47</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm3)         | 2.27          | 2.24          | 2.19          |

|                                 | No. Golpes  |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55          | 25          | 10          |
| Molde No                        | 1           | 2           | 3           |
| Recipiente No                   | 1           | 2           | 3           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00      | 500.00      | 500.00      |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 475.00      | 473.00      | 466.00      |
| Peso Recipiente                 | 17.00       | 16.50       | 16.50       |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>5.46</b> | <b>5.91</b> | <b>7.56</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

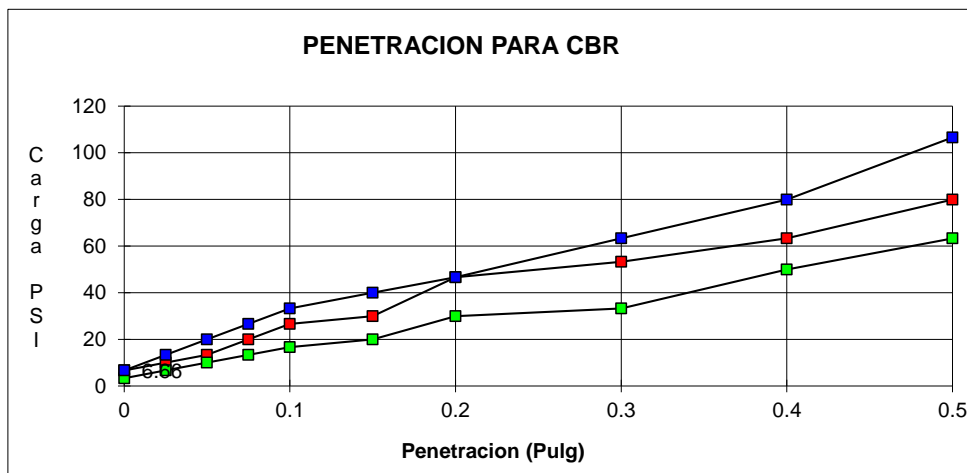
MATERIAL: ARENA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 0%

| PENETRACION CBR |             | 55          |             | 25          |             | 10          |             |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura     | Carga       | Lectura     | Carga       | Lectura     | Carga       |
| 0 seg           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
| 30 seg          | 0.025       | 15.0        | 50          | 11.0        | 37          | 11.0        | 37          |
| 1 min           | 0.050       | 25.0        | 83          | 20.0        | 67          | 19.0        | 63          |
| 1.5 min         | 0.075       | 40.0        | 133         | 30.0        | 100         | 25.0        | 83          |
| 2 min           | 0.100       | <b>54.0</b> | 180         | <b>42.0</b> | 140         | <b>40.0</b> | 133         |
| 3 min           | 0.150       | 70.0        | 233         | 60.0        | 200         | 55.0        | 183         |
| 4 min           | 0.200       | <b>96.0</b> | 320         | <b>91.0</b> | 303         | <b>86.0</b> | 286         |
| 6 min           | 0.300       | 130.0       | 433         | 100.0       | 333         | 96.0        | 320         |
| 8 min           | 0.400       | 210.0       | 699         | 198.0       | 659         | 172.0       | 573         |
| 10 min          | 0.500       | 390.0       | 1299        | 320.0       | 1066        | 220.0       | 733         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |             | <b>18.0</b> |             | <b>14.0</b> |             | <b>13.3</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |             | <b>21.3</b> |             | <b>20.2</b> |             | <b>19.1</b> |

|                   |      |      |       |
|-------------------|------|------|-------|
| Densidad Maxima = | 2.27 | 2.24 | 2.19  |
| Maximo CBR=       | 21.3 | 20.2 | 19.09 |



CONCLUSIONES:

|            |      |
|------------|------|
| CBR 100% = | 21.3 |
| CBR 95% =  | 20.2 |
| CBR 90% =  | 19.1 |

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| HUMEDAD OPTIMA=          | 5.46   |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pe3) | 141.62 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3) | 2.27   |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ARENA dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 7%

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 6"      Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 55, 25, 10      Altura Muestra : 7"

|                                           | No. Golpes    |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                           | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                                  | 4             | 5             | 6             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)               | 8034          | 7965          | 7889          |
| Peso Molde (Gr)                           | 2880          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)                     | 5154          | 5085          | 5009          |
| Densidad Humeda (Lb/pie <sup>3</sup> )    | 151.71        | 149.68        | 147.44        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie<sup>3</sup>)</b> | <b>143.55</b> | <b>140.08</b> | <b>136.77</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm <sup>3</sup> )       | 2.30          | 2.24          | 2.19          |

|                                 | No. Golpes  |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55          | 25          | 10          |
| Molde No                        | 4           | 5           | 6           |
| Recipiente No                   | 4           | 5           | 6           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00      | 500.00      | 500.00      |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 474.00      | 469.00      | 465.00      |
| Peso Recipiente                 | 16.50       | 16.50       | 16.50       |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>5.68</b> | <b>6.85</b> | <b>7.80</b> |



# ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE

## GEOMAVIT

### RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

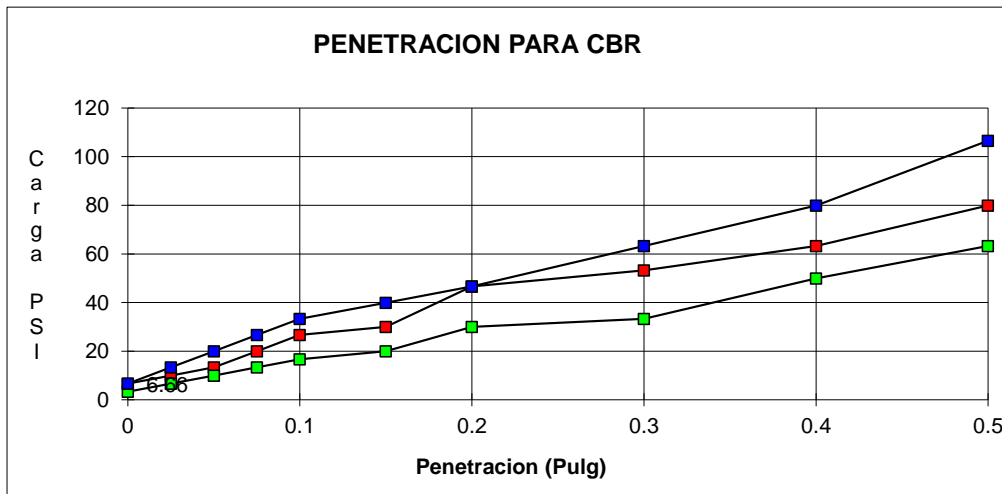
MATERIAL: ARENA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 7%

| PENETRACION CBR |             | 55           |             | 25          |             | 10          |             |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura      | Carga       | Lectura     | Carga       | Lectura     | Carga       |
| 0 seg           | 0           | 0            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
| 30 seg          | 0.025       | 15.0         | 50          | 11.0        | 37          | 11.0        | 37          |
| 1 min           | 0.050       | 27.0         | 90          | 22.0        | 73          | 19.0        | 63          |
| 1.5 min         | 0.075       | 41.0         | 137         | 34.0        | 113         | 27.0        | 90          |
| 2 min           | 0.100       | <b>58.0</b>  | 193         | <b>44.0</b> | 147         | <b>41.0</b> | 137         |
| 3 min           | 0.150       | 73.0         | 243         | 66.0        | 220         | 57.0        | 190         |
| 4 min           | 0.200       | <b>102.0</b> | 340         | <b>97.0</b> | 323         | <b>91.0</b> | 303         |
| 6 min           | 0.300       | 129.0        | 430         | 110.0       | 366         | 97.0        | 323         |
| 8 min           | 0.400       | 215.0        | 716         | 198.0       | 659         | 190.0       | 633         |
| 10 min          | 0.500       | 390.0        | 1299        | 322.0       | 1072        | 225.0       | 749         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |              | <b>19.3</b> |             | <b>14.7</b> |             | <b>13.7</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |              | <b>22.6</b> |             | <b>21.5</b> |             | <b>20.2</b> |

|                   |      |      |       |
|-------------------|------|------|-------|
| Densidad Maxima = | 2.30 | 2.24 | 2.19  |
| Maximo CBR=       | 22.6 | 21.5 | 20.20 |



CONCLUSIONES:

|            |      |
|------------|------|
| CBR 100% = | 22.6 |
| CBR 95% =  | 21.5 |
| CBR 90% =  | 20.2 |

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| HUMEDAD OPTIMA=           | 5.68   |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pic3) | 143.55 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)  | 2.30   |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ARENA dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 14%

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 6"      Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 55, 25, 10      Altura Muestra : 7"

|                                | No. Golpes    |               |               |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                       | 7             | 8             | 9             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)    | 8160          | 8139          | 8046          |
| Peso Molde (Gr)                | 2880          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)          | 5280          | 5259          | 5166          |
| Densidad Humeda (Lb/pie3)      | 155.42        | 154.80        | 152.06        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie3)</b> | <b>147.54</b> | <b>146.15</b> | <b>142.30</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm3)         | 2.36          | 2.34          | 2.28          |

|                                 | No. Golpes  |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55          | 25          | 10          |
| Molde No                        | 7           | 8           | 9           |
| Recipiente No                   | 4           | 5           | 6           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00      | 500.00      | 500.00      |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 475.60      | 473.00      | 469.00      |
| Peso Recipiente                 | 18.50       | 17.00       | 17.00       |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>5.34</b> | <b>5.92</b> | <b>6.86</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

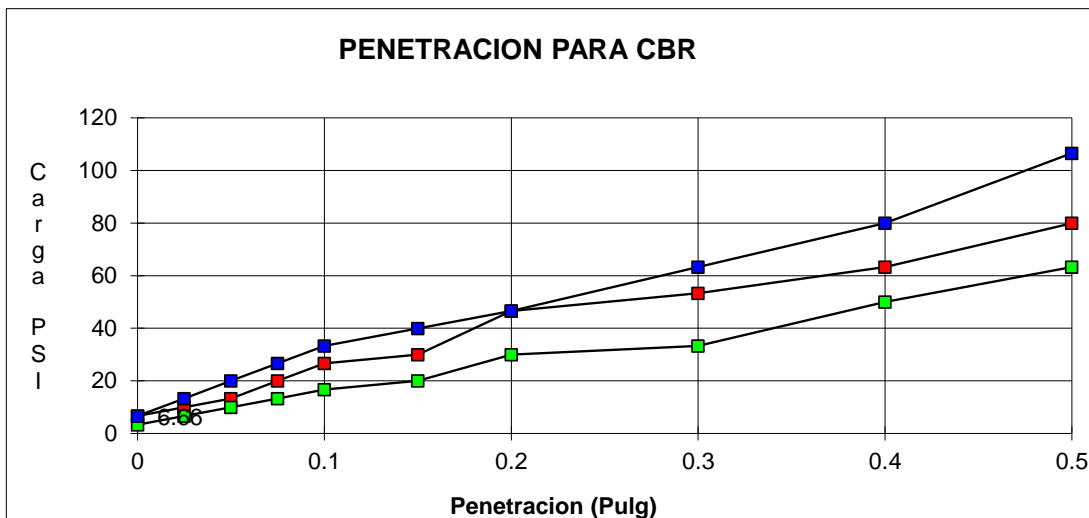
MATERIAL: ARENA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 14%

| PENETRACION CBR |             | 55           |             | 25           |             | 10          |             |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       | Lectura     | Carga       |
| 0 seg           | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           | 0           | 0           |
| 30 seg          | 0.025       | 17.0         | 57          | 13.0         | 43          | 13.0        | 43          |
| 1 min           | 0.050       | 30.0         | 100         | 25.0         | 83          | 24.0        | 80          |
| 1.5 min         | 0.075       | 45.0         | 150         | 38.0         | 127         | 32.0        | 107         |
| 2 min           | 0.100       | <b>64.0</b>  | 213         | <b>49.0</b>  | 163         | <b>44.0</b> | 147         |
| 3 min           | 0.150       | 80.0         | 266         | 70.0         | 233         | 60.0        | 200         |
| 4 min           | 0.200       | <b>110.0</b> | 366         | <b>104.0</b> | 346         | <b>99.0</b> | 330         |
| 6 min           | 0.300       | 132.0        | 440         | 118.0        | 393         | 104.0       | 346         |
| 8 min           | 0.400       | 229.0        | 763         | 205.0        | 683         | 192.0       | 639         |
| 10 min          | 0.500       | 396.0        | 1319        | 340.0        | 1132        | 240.0       | 799         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |              | <b>21.3</b> |              | <b>16.3</b> |             | <b>14.7</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |              | <b>24.4</b> |              | <b>23.1</b> |             | <b>22.0</b> |

|                   |      |      |       |
|-------------------|------|------|-------|
| Densidad Maxima = | 2.36 | 2.34 | 2.28  |
| Maximo CBR=       | 24.4 | 23.1 | 21.98 |



CONCLUSIONES:

|            |      |
|------------|------|
| CBR 100% = | 24.4 |
| CBR 95% =  | 23.1 |
| CBR 90% =  | 22.0 |

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| HUMEDAD OPTIMA=           | 5.34   |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pie3) | 147.54 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)  | 2.36   |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ARENA dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 21%

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 6"      Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 55, 25, 10      Altura Muestra : 7"

|                                | No. Golpes    |               |               |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                       | 1             | 2             | 3             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)    | 8073          | 8109          | 8093          |
| Peso Molde (Gr)                | 2880          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)          | 5193          | 5229          | 5213          |
| Densidad Humeda (Lb/pie3)      | 152.86        | 153.92        | 153.45        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie3)</b> | <b>144.61</b> | <b>143.72</b> | <b>142.01</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm3)         | 2.32          | 2.30          | 2.28          |

|                                 | No. Golpes  |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55          | 25          | 10          |
| Molde No                        | 4           | 5           | 6           |
| Recipiente No                   | 1           | 2           | 3           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00      | 500.00      | 500.00      |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 474.00      | 468.00      | 464.00      |
| Peso Recipiente                 | 18.00       | 17.00       | 17.00       |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>5.70</b> | <b>7.10</b> | <b>8.05</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

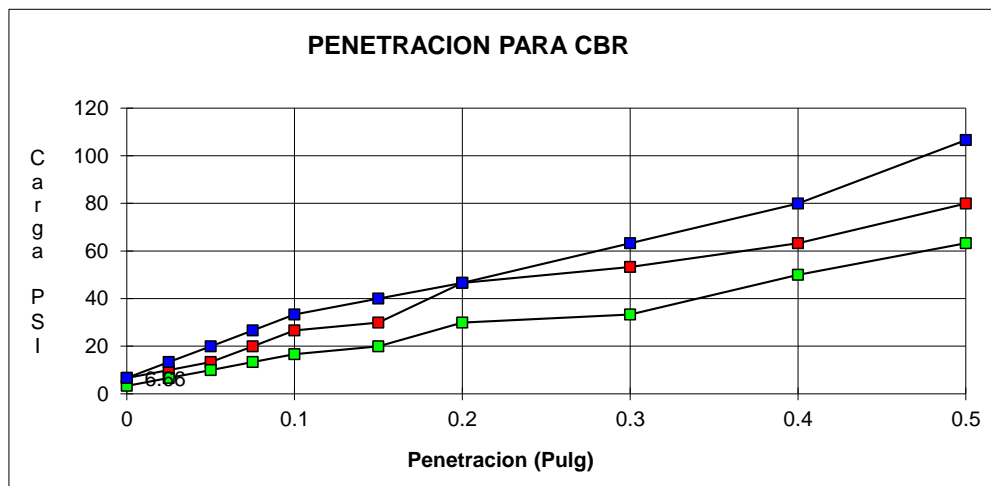
MATERIAL: ARENA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 21%

| PENETRACION CBR |             | 55           |             | 25          |             | 10          |             |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura      | Carga       | Lectura     | Carga       | Lectura     | Carga       |
| 0 seg           | 0           | 0            | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           |
| 30 seg          | 0.025       | 16.0         | 53          | 13.0        | 43          | 13.0        | 43          |
| 1 min           | 0.050       | 28.0         | 93          | 24.0        | 80          | 24.0        | 80          |
| 1.5 min         | 0.075       | 41.0         | 137         | 36.0        | 120         | 30.0        | 100         |
| 2 min           | 0.100       | <b>61.0</b>  | 203         | <b>48.0</b> | 160         | <b>42.0</b> | 140         |
| 3 min           | 0.150       | 74.0         | 246         | 67.0        | 223         | 56.0        | 186         |
| 4 min           | 0.200       | <b>103.0</b> | 343         | <b>98.0</b> | 326         | <b>92.0</b> | 306         |
| 6 min           | 0.300       | 130.0        | 433         | 115.0       | 383         | 102.0       | 340         |
| 8 min           | 0.400       | 225.0        | 749         | 198.0       | 659         | 176.0       | 586         |
| 10 min          | 0.500       | 380.0        | 1265        | 329.0       | 1096        | 237.0       | 789         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |              | <b>20.3</b> |             | <b>16.0</b> |             | <b>14.0</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |              | <b>22.9</b> |             | <b>21.8</b> |             | <b>20.4</b> |

|                   |      |      |       |
|-------------------|------|------|-------|
| Densidad Maxima = | 2.32 | 2.30 | 2.28  |
| Maximo CBR=       | 22.9 | 21.8 | 20.42 |



CONCLUSIONES:

|            |      |
|------------|------|
| CBR 100% = | 22.9 |
| CBR 95% =  | 21.8 |
| CBR 90% =  | 20.4 |

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| HUMEDAD OPTIMA=           | 5.70   |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pie3) | 144.61 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)  | 2.32   |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ZAHORRA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 0%

Peso martillo : 10 lbs

Altura caída : 18"

Diámetro Molde : 6"

Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5

No. de golpes : 55, 25, 10

Altura Muestra : 7"

|                                           | No. Golpes    |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                           | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                                  | 1             | 2             | 3             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)               | 7429          | 7289          | 6790          |
| Peso Molde (Gr)                           | 2880          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)                     | 4549          | 4409          | 3910          |
| Densidad Humeda (Lb/pie <sup>3</sup> )    | 133.90        | 129.78        | 115.09        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie<sup>3</sup>)</b> | <b>124.07</b> | <b>119.96</b> | <b>106.05</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm <sup>3</sup> )       | 1.99          | 1.92          | 1.70          |

|                                 | No. Golpes  |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55          | 25          | 10          |
| Molde No                        | 1           | 2           | 3           |
| Recipiente No                   | 5           | 6           | 7           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00      | 500.00      | 500.00      |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 464.60      | 463.40      | 462.00      |
| Peso Recipiente                 | 18.00       | 16.50       | 16.50       |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>7.93</b> | <b>8.19</b> | <b>8.53</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

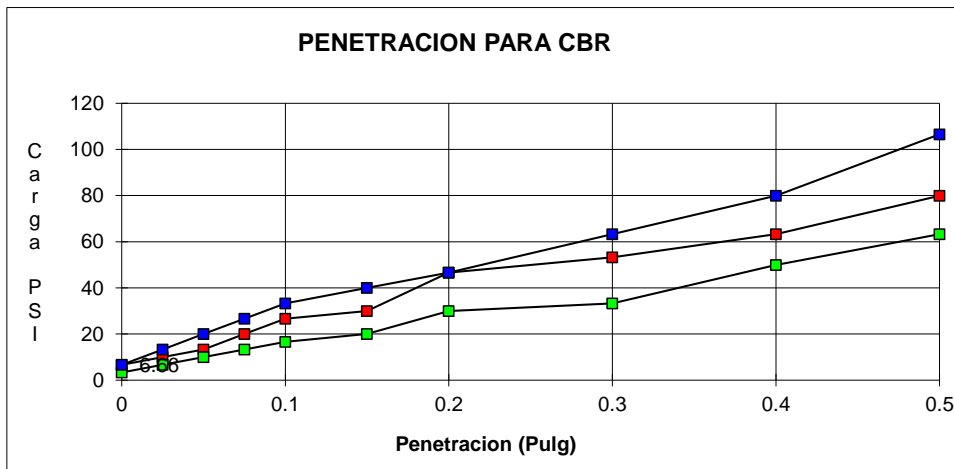
MATERIAL: ZAHORRA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 0%

| PENETRACION CBR |             | 55           |             | 25           |             | 10           |             |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       |
| 0 seg           | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           |
| 30 seg          | 0.025       | 5.0          | 17          | 4.0          | 13          | 4.0          | 13          |
| 1 min           | 0.050       | 10.0         | 33          | 8.0          | 27          | 7.0          | 23          |
| 1.5 min         | 0.075       | 30.0         | 100         | 24.0         | 80          | 20.0         | 67          |
| 2 min           | 0.100       | <b>65.0</b>  | 216         | <b>43.0</b>  | 143         | <b>24.0</b>  | 80          |
| 3 min           | 0.150       | 105.0        | 350         | 89.0         | 296         | 77.0         | 256         |
| 4 min           | 0.200       | <b>140.0</b> | 466         | <b>133.0</b> | 443         | <b>126.0</b> | 420         |
| 6 min           | 0.300       | 200.0        | 666         | 181.0        | 603         | 165.0        | 549         |
| 8 min           | 0.400       | 290.0        | 966         | 215.0        | 716         | 190.0        | 633         |
| 10 min          | 0.500       | 340.0        | 1132        | 290.0        | 966         | 210.0        | 699         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |              | <b>21.6</b> |              | <b>14.3</b> |              | <b>8.0</b>  |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |              | <b>31.1</b> |              | <b>29.5</b> |              | <b>28.0</b> |

|                   |      |      |       |
|-------------------|------|------|-------|
| Densidad Maxima = | 1.99 | 1.92 | 1.70  |
| Maximo CBR=       | 31.1 | 29.5 | 27.97 |



CONCLUSIONES:

|            |      |
|------------|------|
| CBR 100% = | 31.1 |
| CBR 95% =  | 29.5 |
| CBR 90% =  | 28.0 |

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| HUMEDAD OPTIMA=           | 7.93   |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pie3) | 124.07 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)  | 1.99   |



**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ZAHORRA dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 7%

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 6"      Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 55, 25, 10      Altura Muestra : 7"

|                                           | No. Golpes    |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                           | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                                  | 1             | 2             | 3             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)               | 7450          | 7387          | 7317          |
| Peso Molde (Gr)                           | 2880          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)                     | 4570          | 4507          | 4437          |
| Densidad Humeda (Lb/pie <sup>3</sup> )    | 134.52        | 132.67        | 130.60        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie<sup>3</sup>)</b> | <b>124.79</b> | <b>122.24</b> | <b>119.80</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm <sup>3</sup> )       | 2.00          | 1.96          | 1.92          |

|                                 | No. Golpes  |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55          | 25          | 10          |
| Molde No                        | 1           | 2           | 3           |
| Recipiente No                   | 1           | 2           | 3           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00      | 500.00      | 500.00      |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 465.00      | 462.00      | 460.00      |
| Peso Recipiente                 | 16.00       | 16.50       | 16.50       |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>7.80</b> | <b>8.53</b> | <b>9.02</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT  
RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

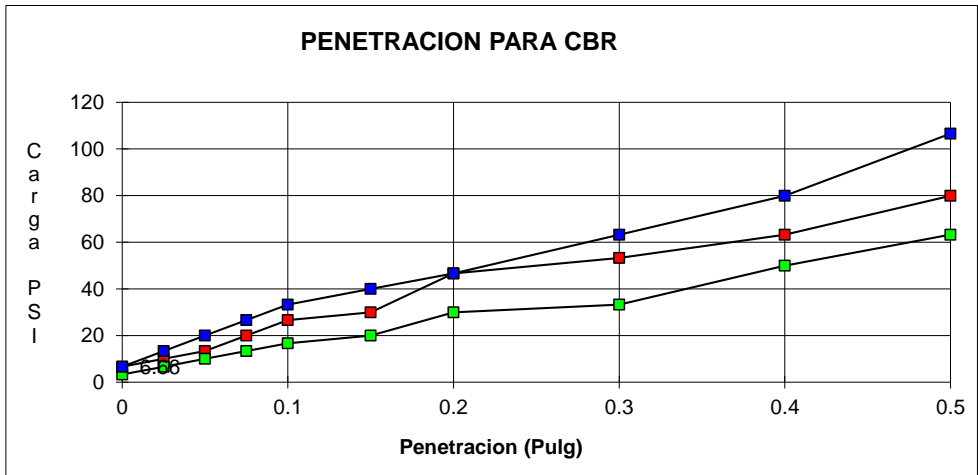
MATERIAL: ZAHORRA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 7%

| PENETRACION CBR |             | 55           |             | 25           |             | 10           |             |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       |
| 0 seg           | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           |
| 30 seg          | 0.025       | 5.0          | 17          | 4.0          | 13          | 4.0          | 13          |
| 1 min           | 0.050       | 12.0         | 40          | 10.0         | 33          | 9.0          | 30          |
| 1.5 min         | 0.075       | 33.0         | 110         | 26.0         | 87          | 22.0         | 73          |
| 2 min           | 0.100       | <b>70.0</b>  | 233         | <b>57.0</b>  | 190         | <b>40.0</b>  | 133         |
| 3 min           | 0.150       | 110.0        | 366         | 95.0         | 316         | 84.0         | 280         |
| 4 min           | 0.200       | <b>143.0</b> | 476         | <b>134.0</b> | 446         | <b>127.0</b> | 423         |
| 6 min           | 0.300       | 210.0        | 699         | 190.0        | 633         | 170.0        | 566         |
| 8 min           | 0.400       | 300.0        | 999         | 250.0        | 833         | 200.0        | 666         |
| 10 min          | 0.500       | 350.0        | 1166        | 300.0        | 999         | 270.0        | 899         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |              | <b>23.3</b> |              | <b>19.0</b> |              | <b>13.3</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |              | <b>31.7</b> |              | <b>29.7</b> |              | <b>28.2</b> |

|                   |      |      |       |
|-------------------|------|------|-------|
| Densidad Maxima = | 2.00 | 1.96 | 1.92  |
| Maximo CBR=       | 31.7 | 29.7 | 28.19 |



CONCLUSIONES:

|            |      |
|------------|------|
| CBR 100% = | 31.7 |
| CBR 95% =  | 29.7 |
| CBR 90% =  | 28.2 |

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| HUMEDAD OPTIMA=          | 7.80   |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pe3) | 124.79 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3) | 2.00   |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOHAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ZAHORRA dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 14%

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 6"      Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 55, 25, 10      Altura Muestra : 7"

|                                           | No. Golpes    |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                           | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                                  | 4             | 5             | 6             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)               | 7527          | 7479          | 7418          |
| Peso Molde (Gr)                           | 2880          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)                     | 4647          | 4599          | 4538          |
| Densidad Humeda (Lb/pie <sup>3</sup> )    | 136.79        | 135.37        | 133.58        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie<sup>3</sup>)</b> | <b>126.56</b> | <b>124.87</b> | <b>122.53</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm <sup>3</sup> )       | 2.03          | 2.00          | 1.96          |

|                                 | No. Golpes  |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55          | 25          | 10          |
| Molde No                        | 4           | 5           | 6           |
| Recipiente No                   | 1           | 2           | 3           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00      | 500.00      | 500.00      |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 463.80      | 462.50      | 460.00      |
| Peso Recipiente                 | 16.00       | 16.50       | 16.50       |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>8.08</b> | <b>8.41</b> | <b>9.02</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

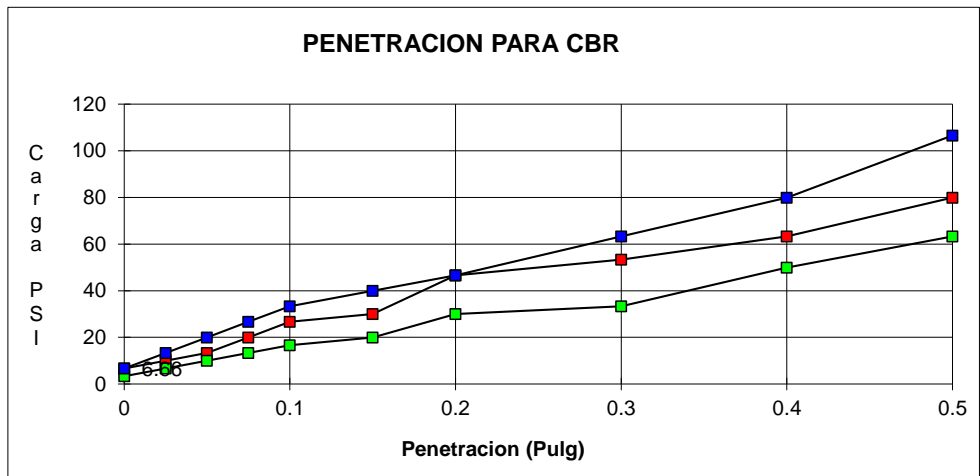
MATERIAL: ZAHORRA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 14%

| PENETRACION CBR |             | 55           |             | 25           |             | 10           |             |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       |
| 0 seg           | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           |
| 30 seg          | 0.025       | 7.0          | 23          | 6.0          | 20          | 5.0          | 17          |
| 1 min           | 0.050       | 14.0         | 47          | 10.0         | 33          | 10.0         | 33          |
| 1.5 min         | 0.075       | 40.0         | 133         | 33.0         | 110         | 27.0         | 90          |
| 2 min           | 0.100       | <b>77.0</b>  | 256         | <b>60.0</b>  | 200         | <b>47.0</b>  | 157         |
| 3 min           | 0.150       | 117.0        | 390         | 100.0        | 333         | 90.0         | 300         |
| 4 min           | 0.200       | <b>147.0</b> | 490         | <b>139.0</b> | 463         | <b>131.0</b> | 436         |
| 6 min           | 0.300       | 217.0        | 723         | 198.0        | 659         | 189.0        | 629         |
| 8 min           | 0.400       | 310.0        | 1032        | 260.0        | 866         | 209.0        | 696         |
| 10 min          | 0.500       | 355.0        | 1182        | 310.0        | 1032        | 278.0        | 926         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |              | <b>25.6</b> |              | <b>20.0</b> |              | <b>15.7</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |              | <b>32.6</b> |              | <b>30.9</b> |              | <b>29.1</b> |

|                   |      |      |       |
|-------------------|------|------|-------|
| Densidad Maxima = | 2.03 | 2.00 | 1.96  |
| Maximo CBR=       | 32.6 | 30.9 | 29.08 |



CONCLUSIONES:

|            |      |
|------------|------|
| CBR 100% = | 32.6 |
| CBR 95% =  | 30.9 |
| CBR 90% =  | 29.1 |

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| HUMEDAD OPTIMA=          | 8.08   |
| DENSIDAD MÁXIMA (lb/pe3) | 126.56 |
| DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3) | 2.03   |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

MATERIAL: ZAHORRA dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 21%

Peso martillo : 10 lbs      Altura caída : 18"      Diámetro Molde : 6"      Tamiz: Malla 3/4"

No. de capas : 5      No. de golpes : 55, 25, 10      Altura Muestra : 7"

|                                           | No. Golpes    |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>DENSIDAD</b>                           | 55            | 25            | 10            |
| Molde No                                  | 7             | 8             | 9             |
| Peso Molde+Suelo Comp. (Gr)               | 7412          | 7076          | 6984          |
| Peso Molde (Gr)                           | 2880          | 2880          | 2880          |
| Peso Suelo Comp. (Gr)                     | 4532          | 4196          | 4104          |
| Densidad Humeda (Lb/pie <sup>3</sup> )    | 133.40        | 123.51        | 120.80        |
| <b>Densidad Seca (Lb/Pie<sup>3</sup>)</b> | <b>123.75</b> | <b>113.81</b> | <b>110.80</b> |
| Densidad Seca (Gm/Cm <sup>3</sup> )       | 1.98          | 1.82          | 1.78          |

|                                 | No. Golpes  |             |             |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     | 55          | 25          | 10          |
| Molde No                        | 7           | 8           | 9           |
| Recipiente No                   | 1           | 2           | 3           |
| Peso recip + suelo Humedo (Gr)  | 500.00      | 500.00      | 500.00      |
| Peso Recip + Suelo seco (Gr)    | 465.00      | 462.00      | 460.00      |
| Peso Recipiente                 | 16.00       | 16.00       | 17.00       |
| <b>Contenido de Humedad (%)</b> | <b>7.80</b> | <b>8.52</b> | <b>9.03</b> |

**ADICION DE GEOTEXTIL TEJIDO T-2400 A LA ESTRUCTURA INTRINSECA DE  
DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PARA RELLENOS**

**GEOMAVIT**

**RELACION DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO  
CBR DE LABORATORIO SUMERGIDO TRES DÍAS (NORMA I.N.V.E - 148-07)**

**ESTUDIANTES:**

ALCIDES HUETO GUERRERO

ANDRES MONTOYA MANJARRES

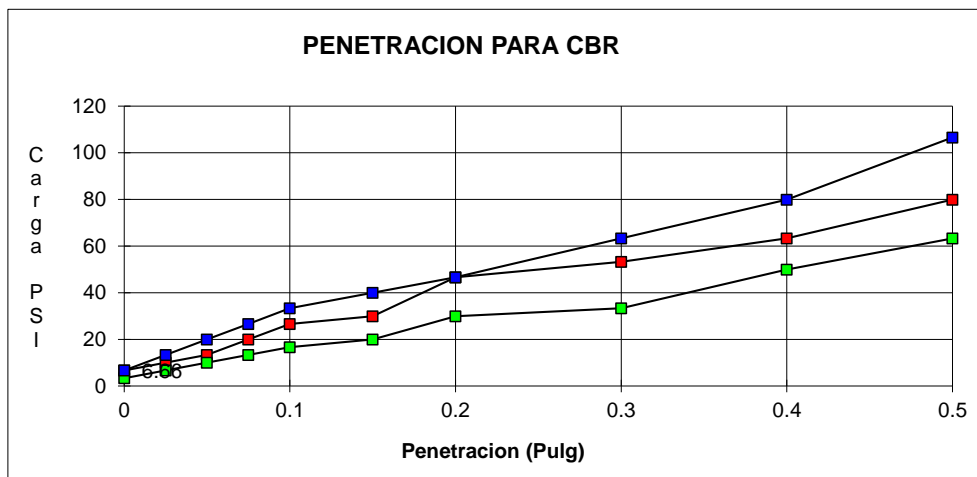
MATERIAL: ZAHORRA

dic-16

PORCENTAJE DE GEOTEXTIL: 21%

| PENETRACION CBR |             | 55           |             | 25           |             | 10           |             |
|-----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Tiempo          | Penetracion | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       | Lectura      | Carga       |
| 0 seg           | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           | 0            | 0           |
| 30 seg          | 0.025       | 7.0          | 23          | 5.0          | 17          | 5.0          | 17          |
| 1 min           | 0.050       | 12.0         | 40          | 8.0          | 27          | 8.0          | 27          |
| 1.5 min         | 0.075       | 38.0         | 127         | 31.0         | 103         | 25.0         | 83          |
| 2 min           | 0.100       | <b>74.0</b>  | 246         | <b>58.0</b>  | 193         | <b>45.0</b>  | 150         |
| 3 min           | 0.150       | 114.0        | 380         | 97.0         | 323         | 87.0         | 290         |
| 4 min           | 0.200       | <b>144.0</b> | 480         | <b>136.0</b> | 453         | <b>128.0</b> | 426         |
| 6 min           | 0.300       | 214.0        | 713         | 197.0        | 656         | 189.0        | 629         |
| 8 min           | 0.400       | 305.0        | 1016        | 256.0        | 852         | 205.0        | 683         |
| 10 min          | 0.500       | 350.0        | 1166        | 309.0        | 1029        | 275.0        | 916         |
| <b>CBR 0.1=</b> |             |              | <b>24.6</b> |              | <b>19.3</b> |              | <b>15.0</b> |
| <b>CBR 0.2=</b> |             |              | <b>32.0</b> |              | <b>30.2</b> |              | <b>28.4</b> |

|                   |      |      |       |
|-------------------|------|------|-------|
| Densidad Maxima = | 1.98 | 1.82 | 1.78  |
| Maximo CBR=       | 32.0 | 30.2 | 28.42 |



CONCLUSIONES:

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| <b>CBR 100% =</b> | <b>32.0</b> |
| <b>CBR 95% =</b>  | <b>30.2</b> |
| <b>CBR 90% =</b>  | <b>28.4</b> |

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>HUMEDAD OPTIMA=</b>          | <b>7.80</b>   |
| <b>DENSIDAD MÁXIMA (lb/pe3)</b> | <b>123.75</b> |
| <b>DENSIDAD MÁXIMA (gm/cm3)</b> | <b>1.98</b>   |









