

## INTRODUCCIÓN

Se define subrasante como una capa fundamental en la estructura de una obra vial la misma que está encargada de soportar los esfuerzos necesarios para el tráfico en la obra a realizarse, es decir, es el suelo de fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

Los Geosintéticos son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímeros, del tipo conocido genéricamente como “plásticos”, que de su forma elemental, de polvos o gránulos, son convertidos mediante uno o más procesos, en láminas, fibras, perfiles, películas, tejidos, mallas, etc., o en compuestos de dos o más de ellos. Sus funciones dentro de tales estructuras son las de complementar, conservar, o bien mejorar el funcionamiento de los sistemas constructivos y en algunos casos sustituir por completo algunos materiales y procesos de la construcción tradicional.

Para el desarrollo de esta investigación se buscó trabajos similares, que relacionen los geosintéticos con la subrasante, para tener un punto de referencia y consulta.

Una investigación que llamo la atención fue desarrollada por la Universidad Nacional de Colombia, se realizaron pruebas para medir numéricamente el efecto de la aplicación de geosintéticos como capa de refuerzo de diferentes suelos de subrasante cubiertas por una capa estructural de tipo granular, se aplicaron geotextil tejido y geomalla, a partir de esto se evaluó los efectos cuantitativos sobre la respuesta mecánica del terreno en términos de su módulo de reacción.

Esta investigación pretende demostrar que el material geosintético (geotextil,

geomalla, geomembrana) puede ser utilizada como una opción a las soluciones ingenieriles para el refuerzo de suelos subrasantes de bajas características de resistencia, para demostrar esta teoría se comenzará con una revisión bibliográfica para lograr un avance significativo en el marco teórico de manera que se pueda enfocar el estudio hacia una propuesta investigativa centrada en el contexto correcto.

Luego se aplicarán ensayos de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg) para caracterizar muestras de subrasantes de suelo fino (arcillas y limos), se procederá a la conformación de probetas a las cuales se extenderá el manto geosintético, con este método se buscará mejorar la resistencia la cual se medirá nuevamente por medio de ensayos mecánicos de CBR y compresión simple. Obtenidos los datos se realizará el procesamiento de los resultados y el análisis del mismo con esto se logrará verificar el efecto positivo de la aplicación de los geosintéticos en el refuerzo de la muestra de subrasante.

La formulación del trabajo investigativo que surge en este documento intenta reunir todos los aspectos que deben ser evaluados para lograr una simulación veraz, tales como cargas, tipo de suelo, tipo de geosintético, entre otros, de manera que los resultados obtenidos pueden brindar una guía para la construcción de obras viales y establecer las bases para futuras investigaciones del uso de los geosintéticos en otras áreas de construcción en el país. Además de señalar el problema de resistencia de la subrasante como un factor importante a la hora de plantear los espesores de un paquete estructural de una vía, de forma que no se presenten problemas estructurales inesperados.

**CAPÍTULO I**  
**DISEÑO METODOLÓGICO**

## **CAPÍTULO I**

### **DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO**

#### **1.1. DISEÑO TEÓRICO**

##### **1.1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

###### **1.1.1.1. Situación Problemática**

Conocemos como subrasante al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

Es importante conocer las propiedades y características de los suelos subrasantes para ello se deben realizar una serie de ensayos como granulometría, plasticidad; además para conocer la resistencia del suelo se realizan ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR y compresión simple.

El suelo de una subrasante puede fallar bajo carga de dos maneras: a través de una falla localizada por corte o por la falla de la capacidad portante profunda.

La falla localizada por corte, o punzonamiento, ocurre generalmente con la forma de una deformación severa en terrenos blandos saturados cuando la carga excede la resistencia al corte de la subrasante. La subrasante por debajo de un relleno sin reforzar fallará por punzonamiento al llegar a un nivel de tensión de alrededor de la mitad de la capacidad portante última del suelo.

Los pavimentos rígidos y flexibles se diseñan tomando como base un valor de capacidad portante de la subrasante que fue determinado a través de un estudio de suelos. Es más, la mayoría de los métodos de diseño son aplicables hasta algún valor mínimo de resistencia de la subrasante.

Cuando las condiciones del suelo subrasante son mucho más débiles que los valores mínimos de diseño frecuentemente se presentan deficiencias en la construcción pero no se detectan por encontrarse ocultas en el pavimento final; sin embargo pueden aparecer en el pavimento después de la exposición al tráfico y al medio ambiente,

éstas fallas dan lugar a un deterioro rápido de la estructura vial, y se hacen visibles por el ahuellamiento, fisuras longitudinales y transversales, asentamiento que puede presentarse.

Frente a esta situación lo más común es retirar y reemplazar la subrasante de mala calidad por rellenos de sustitución, lo cual resulta en pérdida de dinero y tiempo, con la aplicación de geosintéticos disponibles en nuestro medio se puede mejorar la resistencia de una muestra de suelo subrasante puesto que este material cumple la función de refuerzo constituyéndose en un complemento y mejorando las propiedades mecánicas de la muestra de suelo, lo cual luego de ser demostrado en laboratorio asegura el buen desempeño del material en un pavimento real.

#### **1.1.1.2. Problema**

De acuerdo a situación problemática el problema en particular se puede identificar de la siguiente manera:

¿Cuál es el efecto de la aplicación de material geosintético en muestras de suelos subrasantes de bajas características de resistencia?

#### **1.1.2. OBJETIVOS**

##### **1.1.2.1. Objetivo General**

Realizar la investigación sobre el efecto generado por la aplicación de un manto geosintético en muestras de suelo subrasante de baja resistencia, valiéndose de ensayos mecánicos de laboratorio, con la finalidad de determinar si el geosintético utilizado refuerza las muestras de subrasantes de suelo fino (arcillas, limos) y de esa manera garantizar que el geosintético pueda mejorar las muestras de subrasantes generadas en laboratorio.

##### **1.1.2.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Estudiar, describir y analizar aspectos generales sobre geosintéticos su función, propiedades, tipos disponibles en nuestro en nuestro medio y su aplicación en las carreteras.

- ✓ Evaluar teóricamente la incidencia de los geosintéticos según su tipo en las muestras de los suelos subrasantes de baja resistencia como limos y arcillas.
- ✓ Establecer la muestra de estudio para la presente investigación.
- ✓ Caracterizar los materiales tanto de subrasantes como de geosintéticos a ser estudiados.
- ✓ Evaluar el comportamiento en laboratorio de diferentes geosintéticos en diferentes tipos de muestras de subrasantes a través de ensayos mecánicos.
- ✓ Basándose en los resultados determinar conclusiones y recomendaciones específicas para un uso adecuado y correcto de los geosintéticos según el tipo de suelo de la subrasante.

### **1.1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

#### **1.1.3.1. Tipo de estudio**

Este trabajo tiene como tipo de investigación el *explicativo* este tipo de estudio va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos, sino que está dirigido a responder las causas de eventos, su interés se centra en explicar porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o porque dos o más variables están relacionadas y también predecir el comportamiento de uno de estos elementos en función del otro, a través de la relación causa-efecto.

#### **1.1.3.2. Hipótesis**

“La aplicación de geosintéticos en subrasantes de bajas características de resistencia permitirá aumentar su capacidad de soporte para la fundación de un paquete estructural”.

#### **1.1.3.3. Variables**

Las variables que se identifican son de tipo conceptual y operacional:

##### *Variable Conceptual*

Independiente: El material geosintético (geotextil, geomalla, geogrilla), ya que este cumple la función de ser el responsable o el causante de reforzar el suelo.

Dependiente: Las condiciones mecánicas de la subrasante, ya que recibirá el efecto de mejorar en función del material aplicado para reforzar sus propiedades.

*Variable operacional*

Los distintos tipos de geosintéticos utilizados en la investigación.

Ensayos de laboratorios para la caracterización de la subrasante.

## **1.2. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.2.1. UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL**

#### **1.2.1.1. Unidad de Estudio**

*Los materiales de subrasante.*

#### **1.2.1.2. Población**

*Los materiales de subrasantes con bajas características de resistencia.*

Como se busca aumentar la resistencia es lógico que la población corresponda a suelos que carezcan de esta propiedad.

#### **1.2.1.3. Muestra**

Los materiales de subrasante con bajas características de resistencia:

*Subrasante de suelo fino (limos y arcillas)*

La muestra es una representación significativa de las características de una población, estudiamos las características de un conjunto poblacional mucho menor que la población global, según la mecánica de suelos se ha demostrado que los tipos de suelo seleccionados presentan serios problemas de resistencia por sus características de alta plasticidad, humedad, capacidad de expansión e hinchamiento, constituyéndose en factores que debilitan el paquete estructural de una carretera, por esa razón es una buena elección para su estudio.

#### **1.2.1.4. Muestreo**

El muestreo (análisis y elección de la muestra) es de tipo *no probabilístico discrecional* las variables son elegidas para formar parte de la muestra con un

objetivo específico. El investigador cree que algunos sujetos son más adecuados para la investigación que otros. Por esta razón, aquellos son elegidos deliberadamente, por lo tanto se seleccionó la muestra más representativa tomando en cuenta:

- ✓ Disponibilidad del material en la ciudad de Tarija
- ✓ Los geosintéticos que según sus propiedades y características pueden tener mejor efecto en subrasantes de baja resistencia.

## **1.2.2. MÉTODO, TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS**

### **1.2.2.1. Método**

En el presente Proyecto de Grado se empleará el *método científico experimental* puesto que se busca determinar la adecuación o no de la hipótesis planteada a la realidad mediante la observación y experimentación a través de un conjunto de manipulaciones, procedimientos y operaciones de control.

Este método trata de demostrar de forma simple que con la manipulación de una variable independiente en nuestro caso identificado como los geosintéticos, se produce un cambio en la variable dependiente es decir sobre la subrasante.

Además el recurrir al método experimental nos permite repetir la observación bajo las mismas condiciones para verificarla, en nuestro caso realizaremos varias probetas de estudio en laboratorio para ver el comportamiento del geosintético.

### **1.2.2.2. Técnicas**

Para desarrollar la investigación experimental se realizarán ensayos en el laboratorio característicos de clasificación de suelos y de verificación de resistencia, luego se hará el posterior análisis de datos para comprobar si la hipótesis del inicio se cumple o no. Lo ideal es hacer los ensayos en campo pero las condiciones no lo permiten, estos experimentos en laboratorio tendrán la finalidad de reproducir y simular lo que sucedería en campo.

### **1.2.2.3. Procedimiento**

Para llevar a cabo el desarrollo de la presente investigación se cumplirán las siguientes fases que se detallan a continuación:

*Fase de Diseño Teórico - Metodológico:* Ésta fase inicial traza el recorrido de la investigación, es vital ya que se debe tener claro qué se quiere hacer, para qué, y cómo se logrará, se identifican las variables y la unidad de estudio. Una buena definición de esta etapa nos dará bases sólidas para el desarrollo sin problemas de la investigación.

*Fase de Revisión Bibliográfica:* Esta fase dará inicio a la investigación, dado a que consiste en realizar una revisión exhaustiva de literatura relacionada con el tema de estudio, lo cual servirá de apoyo para la construcción del marco teórico donde se tome como base las variables a desarrollar. Dicha fase facilitará estructurar y orientar la organización detallada de la información, lo que permite ubicarla como un referente conceptual inicial con proporciones de atención estimables

*Fase de Trabajo:* Comprenderá los ensayos en laboratorio de límites de consistencia, análisis granulométrico, CBR, compactación, compresión simple, en esta fase es donde se aplicará toda la teoría recopilada para su posterior validación de la hipótesis y la confiabilidad de las variables.

*Fase de Procesamiento y Análisis de los Resultados:* Se inicia con el procesamiento de los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio, por medio de cálculos, tablas y gráficas, con el fin de diagnosticar si la subrasante de baja resistencia mejora con la aplicación de diferentes geosintéticos.

Luego del obtener los resultados finales se podrá formular las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

### **1.2.3. PREPARACIÓN PARA APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS**

#### **1.2.3.1. Descripción de equipos**

Para realizar la clasificación del suelo subrasante se realizarán los siguientes ensayos de laboratorio con sus respectivos equipos:

##### *Análisis Granulométrico por medio del hidrómetro (ASTM D422)*

Hidrómetro, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la

escala tiene valores de peso específico que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20 °C. Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/l) que van de -5 a +60. Se identifica como 152 H y esta calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1,00a 20°C y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2,65

Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5°C (0.9°F).

Cronometro o reloj.

Agente Dispersante es una solución de hexametáfosfato de sodio; se usara en agua destilada, la muestra deberá estar sumergida en el defloculante durante 24 horas antes de realizar el ensayo.

*Límites de Consistencia: Límite Líquido ASTM D4318 AASHTO T89*

*Límite Plástico ASTM D4318 AASHTO T90*

Espátula: Con una hoja flexible de aproximadamente 75mm de largo y 20mm de ancho.

Aparato de Casa Grande: Taza de bronce con una masa de 200±20(g) montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm rebote entre 75% y 90%.

Acanalador: Combinación de acanalador y calibre.

Superficie de amasado. Placa de vidrio.

*Compactación (Proctor modificado T-180)*

El molde de compactación modificado consiste en un molde cilíndrico de acero de 152,4mm. de diámetro y 116,4 de altura con una capacidad de 2,124cm<sup>3</sup>.

Pisón de compactación modificado - ASTM D-698 - AASHTO T-180

Este martillo de compactación tiene una caída libre de 457mm. y un peso de 4,540kg.

Enrasador: Un enrasador metálico rígido de cualquier longitud conveniente pero no menor de 25cm (10”).

*CBR (ASTM D1883 AASTHO T193)*

Aparato para medir la expansión con (expansímetro) de carátula con presión de 0.01 mm.

Pesos para sobre cargar de 2.27 kg cada una. La carga anular, de diámetro exterior de 149.2mm, debe disponer de una perforación en el centro de aproximadamente de 54mm de diámetro.

Máquina de compresión equipada con pistón de penetración C.B.R. (diámetro de 4.953 cm. con sección transversal de 19.4 cm) y capa de penetración a una tasa de 1.27 mm/ min.

*Ensayo de Compresión Simple (ASTM D2126 AASTHO T208)*

Máquina de compresión inconfiada (cualquier tipo de máquina de compresión que tenga un sistema de lectura de carga de rango suficientemente bajo, para obtener lecturas de carga aproximada).

Deformímetro: Lectura con precisión de 0.01mm/división)

### **1.2.3.2. Forma de operar**

Para desarrollar la investigación se realizará la simulación de lo que sucedería en campo, tratando de generar las mismas condiciones en el laboratorio, para ello se planteará la siguiente secuencia a objeto de encontrar elementos de medición y evaluación de nuestra variable de estudio:

- ✓ Se realizará la extracción de 2 muestras de suelo subrasante del tipo fino es decir que coincidan con ser limos, arcillas.
- ✓ Se caracterizaran las muestras realizando los ensayos elementales como ser: Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor y CBR. Con estos datos se podrá clasificar exactamente el tipo de suelo según el método AASTHO.
- ✓ Se realizará la selección y adquisición de los geosintéticos, se utilizarán 4 tipos

de geosintéticos: Geotextiles Tejidos y No tejido, Geomalla Biaxial, Geogrilla, es fundamental que cada geosintético tenga las especificaciones técnicas correspondientes para conocer las propiedades y características además de las diferencias básicas entre ellos.

- ✓ Se utilizarán los moldes compactación T-180 para conformar la simulación del ensayo, se harán ensayos de la subrasante + geosintético colocado en la superficie del espécimen y ensayos de subrasante + geosintético colocado en la mitad del espécimen.

*Con suelo LL>50*

- 3 ensayos de suelo subrasante + geotextil tejido en la superficie
- 3 ensayos de suelo subrasante + geotextil no tejido en la superficie
- 3 ensayos de suelo subrasante + geomalla biaxial en la superficie
- 3 ensayos de suelo subrasante + geogrilla en la superficie
- 3 ensayos de suelo subrasante + geotextil tejido en la mitad
- 3 ensayos de suelo subrasante + geotextil no tejido en la mitad
- 3 ensayos de suelo subrasante + geomalla biaxial en la mitad
- 3 ensayos de suelo subrasante + geogrilla en la mitad

*Con suelo LL<50*

- 3 ensayos de suelo subrasante + geotextil tejido en la superficie
- 3 ensayos de suelo subrasante + geotextil no tejido en la superficie
- 3 ensayos de suelo subrasante + geomalla biaxial en la superficie
- 3 ensayos de suelo subrasante + geogrilla en la superficie
- 3 ensayos de suelo subrasante + geotextil tejido en la mitad
- 3 ensayos de suelo subrasante + geotextil no tejido en la mitad
- 3 ensayos de suelo subrasante + geomalla biaxial en la mitad
- 3 ensayos de suelo subrasante + geogrilla en la mitad

A todas estas muestras se realizarán los ensayos de:

*CBR*: Para verificar si la resistencia al corte aumenta cuando se aplica el geosintético.

*Compresión simple:* Para determinar la resistencia a la compresión no confinada, lo cual nos permite obtener un valor de carga última del suelo.

### 1.2.3.3. Ensayos

Lo que se espera obtener de los ensayos a realizar son los siguientes parámetros y resultados:

Con los parámetros de límite líquido, límite plástico y análisis granulométrico se puede clasificar el tipo de muestra de suelo subrasante con el que se está trabajando mediante la *clasificación de AASTHO*.

- ✓ Se espera que las muestras de suelo subrasante tengan las características de un suelo fino correspondiente a una clasificación A-6, A-7.

*Ensayo de Límite Líquido:* Se seguirá el procedimiento correspondiente de este ensayo utilizando los materiales y equipos disponibles en el laboratorio con la finalidad de determinar el límite líquido de los suelos subrasantes.

A partir de los números de golpes y contenidos de humedad para ese determinado número de golpes se realizará una gráfica con la cual se obtendrá *el porcentaje del límite líquido de la muestra*.

Puesto que la muestra corresponde a suelos finos se espera tener límites líquidos que oscilen entre:

Suelos con  $LL < 50$

Suelos con  $LL > 50$

*Ensayo de Límite Plástico:* El objetivo de éste ensayo es determinar el porcentaje de humedad del suelo que ha producido un cilindro de aproximadamente 3 mm de diámetro. Es decir, el porcentaje o contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido. Con este procedimiento y el posterior resultado después de la muestra seca se obtiene *el porcentaje del límite plástico de la muestra*.

Al igual que en el anterior ensayo los parámetros de límite plástico se deberían obtener son:

- ✓ El valor del Límite Plástico varía entre 20 – 50%

*Ensayo de Análisis Granulométrico:* Con el ensayo del análisis granulométrico se logrará conocer la distribución (en porcentajes) de las partículas minerales individuales del suelo, agrupadas en fracciones granulométricas según su tamaño.

- ✓ La muestra de subrasante al ser limos y arcillas nos dan la idea de que el tamaño de las partículas son  $< 0.075\text{mm}$ , por lo tanto es recomendable hacer un análisis hidrométrico, análisis que nos dará como resultado la curva granulométrica.

*Ensayo de Compactación:* Con el objeto de determinar, la relación entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima, que se puede conseguir con ese suelo subrasante en el laboratorio.

Los resultados esperados son:

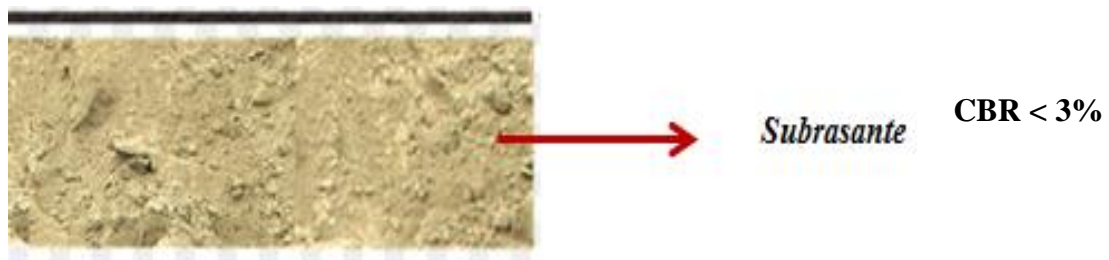
- ✓ Contenido humedad óptima por ser suelos finos es elevado deberá ser  $> 14\%$
- ✓ La densidad máxima oscilará entre  $1.6 - 1.8\text{gr/cm}^3$

*Ensayo de CBR:* Este ensayo nos permite determinar el número CBR, que corresponde al valor relativo de soporte de un suelo. Este valor es un índice de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo bajo condiciones de compactación y humedad controladas.

Para que un geosintético cumpla de manera óptima con la función de refuerzo se debe cumplir con la condición de que el CBR de la subrasante sea menor al 3%. Con este valor de CBR se considera como una subrasante muy pobre.

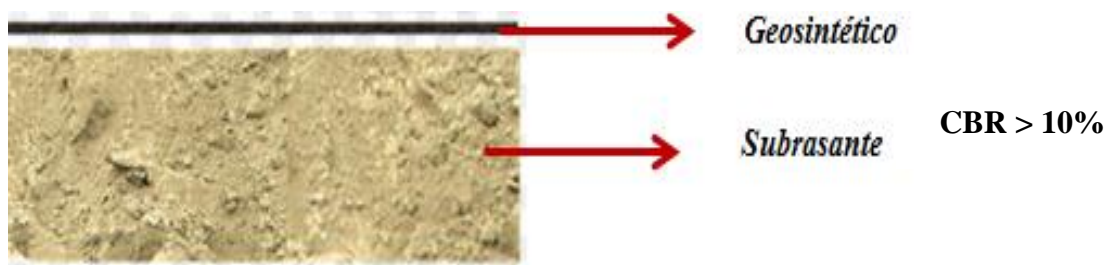
Con la aplicación del geosintético se busca que el valor de CBR de la muestra aumente por lo menos al 10% rango donde se considera a la subrasante como regular, siendo apta para la fundación de un paquete estructural.

Figura N°1.1. Subrasante con baja resistencia



Fuente: Elaboración propia

Figura N°1.2. Subrasante de baja resistencia reforzada con geosintético colocado en la superficie



Fuente: Elaboración propia

Figura N°1.3. Subrasante de baja resistencia reforzada con geosintético colocado en la mitad



Fuente: Elaboración propia

*Compresión Simple:* Con este ensayo se obtiene la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ), e indirectamente la resistencia al corte ( $q_c$ ).

Este cálculo se basa en el hecho de que el esfuerzo principal menor es cero (ya que al suelo lo rodea sólo la presión atmosférica) y que el ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) del

suelo se supone cero. Con el valor de la resistencia máxima a compresión simple, se pueden obtener los valores de la arcilla según la consistencia del suelo los resultados de la subrasante tanto al inicio como al final del ensayo que se esperan son:

*Carga última (kg/cm<sup>2</sup>)*

*Muy blanda* < 0,25      Se espera que este sea el valor inicial para la subrasante

*Firme* 1,00-2,00      Con la aplicación del geosintético se quiere lograr este valor

#### **1.2.3.4.    Consignas o limitaciones**

En toda investigación surgen inconvenientes o dificultades que pueden en algunos casos evitarse y otros se debe buscar una solución alternativa, en este proyecto las

Limitaciones que se identifican son:

- ✓ Aunque los ensayos citados deben realizarse de acuerdo a las normas establecidas y según las condiciones de los equipos mencionados, no se logrará a cabalidad cumplir esta condición puesto que los equipos con los que se cuentan en laboratorio presentan ciertas deficiencias por el tiempo de uso del mismo.
- ✓ Para conocer el real comportamiento del geosintético sobre la subrasante, los ensayos se deberían realizar en campo (en una carretera en construcción), como es difícil conseguir los permisos para realizarlo de esta manera, se simulará en laboratorio a través de probetas lo que sucede en campo.

#### **1.2.4.    TRATAMIENTO ESTADÍSTICO**

Para esta investigación debido a que obtendrán un conjunto de resultados (48) se evaluarán con dos metodologías:

- ✓ A través de *medidas de Tendencia central y dispersión* de manera que se obtengan indicadores como media, moda, mediana, desviación estándar y coeficientes de variación. En casos necesarios se realizaran análisis de sensibilidad.

#### **1.2.4.1. Confiabilidad**

La confiabilidad de una prueba o instrumento se refiere a la consistencia de las calificaciones obtenidas por los mismos individuos en diferentes ocasiones o con diferentes conjuntos de reactivos equivalentes.

Conociendo el concepto la confiabilidad entendemos que es uno de los requisitos de la investigación y se fundamenta en el grado de uniformidad mediante el cual el instrumento de medición cumple su finalidad.

En este sentido, el cálculo de confiabilidad de nuestra investigación se realizó través la aplicación tres tipos de geosintéticos a dos tipos de suelo subrasante y se medirá la confiabilidad si entre los resultados no existe una gran diferencia.

Se elaborará la base de datos, con la cual se determinará la confiabilidad mediante el:

*Método del Coeficiente de Cron Bach.*- Permite determinar la confiabilidad; utilizando la fórmula si el resultado es 0.80 o más se considera aceptable el instrumento. Alfa de Cronbach no deja de ser una media ponderada de las correlaciones entre las variables (o ítems) que forman parte de la escala. Puede calcularse a partir de las varianzas (alpha de Cronbach).

#### **1.2.4.2. Validez**

La validez se refiere al grado en que el instrumento abarca realmente todos o una gran parte de los contenidos o los contextos donde se manifiesta el evento que se pretende medir, es decir es el grado en que un instrumento mide la variable que pretende medir.

La validez del contenido del instrumento que se utilizó en esta investigación se obtuvo a través de:

*La validez de constructo:* Este método es el más importante desde una perspectiva científica y se refiere al grado en que una medición se relaciona consistentemente con otras mediciones de acuerdo con hipótesis derivadas teóricamente y que conciernen a los conceptos que están siendo medidos.

Las etapas de la validez de este método son:

- ✓ Relación teórica entre conceptos y el marco teórico.
- ✓ Se relacionan ambos conceptos y se analiza.
- ✓ Interpretación de la evidencia empírica.

Con esto deducimos que no es posible llevar a cabo una validación de un constructo, a menos que exista un marco teórico que soporte a las variables en relación con otras variables.

En este proyecto nos basamos en la teoría para formular una hipótesis la cual se verificará si es válida por medio de ensayos de laboratorio y analizando los resultados.



**CAPÍTULO II**  
**GEOSINTÉTICOS Y SUBRASANTES**

## CAPÍTULO II

### GEOSINTÉTICOS Y SUBRASANTES

#### 2.1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.-

Para poder comprender el título de este proyecto es importante conocer las definiciones concretas y exactas de cada término que compone el título.

*Efecto:* Aquello que sigue por virtud de una causa.<sup>1</sup>

*Aplicación:* Acción y efecto de aplicar o aplicarse. Poner algo sobre otra cosa o en contacto de otra cosa.<sup>2</sup>

*Geosintéticos:* Este término se compone de dos palabras:

*Geo:* Prefijo griego que significa tierra/suelo, palabra ampliamente relacionada con la ingeniería y la geotecnia, que se refiere a los estudios sobre el comportamiento de los suelos.

*Sintético:* Son los productos fabricados por procedimientos industriales o por síntesis química, es decir no naturales.

De acuerdo a la descomposición y significado de la palabra se pueden definir a los geosintéticos como “Productos en el que al menos uno de sus componentes es un polímero natural o sintético, en forma de lámina, tira o banda o una estructura tridimensional, utilizado en contacto con el suelo o con otros materiales, en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil.”<sup>3</sup>

*Subrasantes:* Superficie del camino sobre la que se construirá la estructura del pavimento.<sup>4</sup>

Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las solicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las bermas.<sup>5</sup>

*Baja:* Disminución del precio, valor y estimación de algo.<sup>6</sup>

<sup>1-2-6</sup> El Diccionario de la lengua española (DRAE) es la obra de referencia de la Academia. La edición actual —la 22.ª, publicada en 2001.

<sup>3</sup> Norma UNE-EN ISO 10318:2006. Geosintéticos. Términos y definiciones

<sup>4</sup> Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 1: Diseño Geométrico

<sup>5</sup> Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 4: Ensayo de Selos y Materiales Manuales Técnicos

*Características:* Dicho de una cualidad: Que da carácter o sirve para distinguir a alguien o algo de sus semejantes, son propias de una cosa.<sup>7</sup>

*Resistencia:* Acción y efecto de resistir o resistirse.<sup>8</sup> Dicho de un cuerpo o de una fuerza: Oponerse a la acción o violencia de otra.<sup>9</sup>

## 2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los geosintéticos más aplicados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, geomallas y geogrillas.

### 2.2.1. Geotextiles

Los geotextiles y productos relacionados con geotextiles, forman la familia de materiales permeables de los geosintéticos.

Se definen como “un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas”<sup>10</sup> (Ver Figura 2.1)

Las funciones de los geotextiles se basan en la capacidad de filtración y en sus altas resistencias mecánicas, siendo éstas: separar, filtrar, drenar, reforzar y proteger. Pueden fabricarse de diferentes formas y sus aplicaciones abarcan prácticamente todos los campos de la ingeniería civil en donde se esté en contacto con el terreno.

*Figura 2.1 Muestra de geotextil*



*Fuente de la fotografía: Mecánica de Suelos y Geología – FIUBA*

<sup>7-8-9</sup> El *Diccionario de la lengua española (DRAE)* es la obra de referencia de la Academia. La edición actual — 22.ª, Publicada en 2001.

<sup>10</sup>Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9ª Edición

### a) Clasificación de los geotextiles

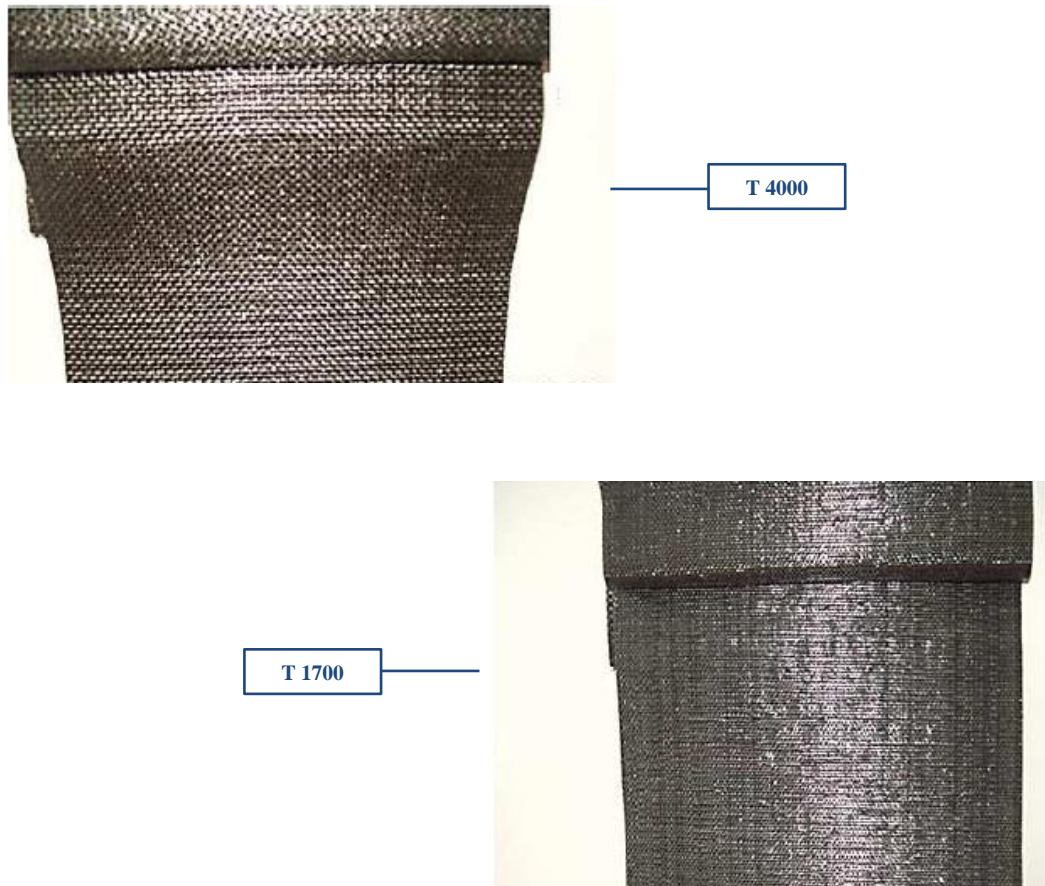
#### ➤ Clasificación según su método de fabricación

##### ✓ Geotextil Tejido

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser tejidos de calada o tricotados. Los tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas). Su estructura es plana. (Ver Figura. 2.2)

Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial.<sup>11</sup>

Figura 2.2. Geotextiles tejidos



<sup>11</sup>Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9ª Edición



T 2400



T 1400



T 1050

T 1210



*Fuente de las fotografías: Manual de Geotextiles Pavco (Colombia)*

### ✓ Geotextil no tejido

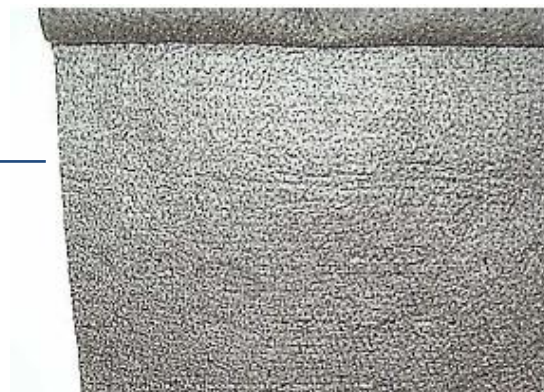
Geotextil fabricado de fibras, filamentos u otros elementos orientados regularmente o aleatoriamente, unidos de forma mecánica, química o térmicamente.<sup>12</sup> (Ver Figura. 2.3)

*Figura 2.3. Geotextiles no tejidos*



No Tejido  
REPAV 400

No Tejido  
REPAV 450



<sup>12</sup>Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9ª Edición



No Tejido  
NT 1800



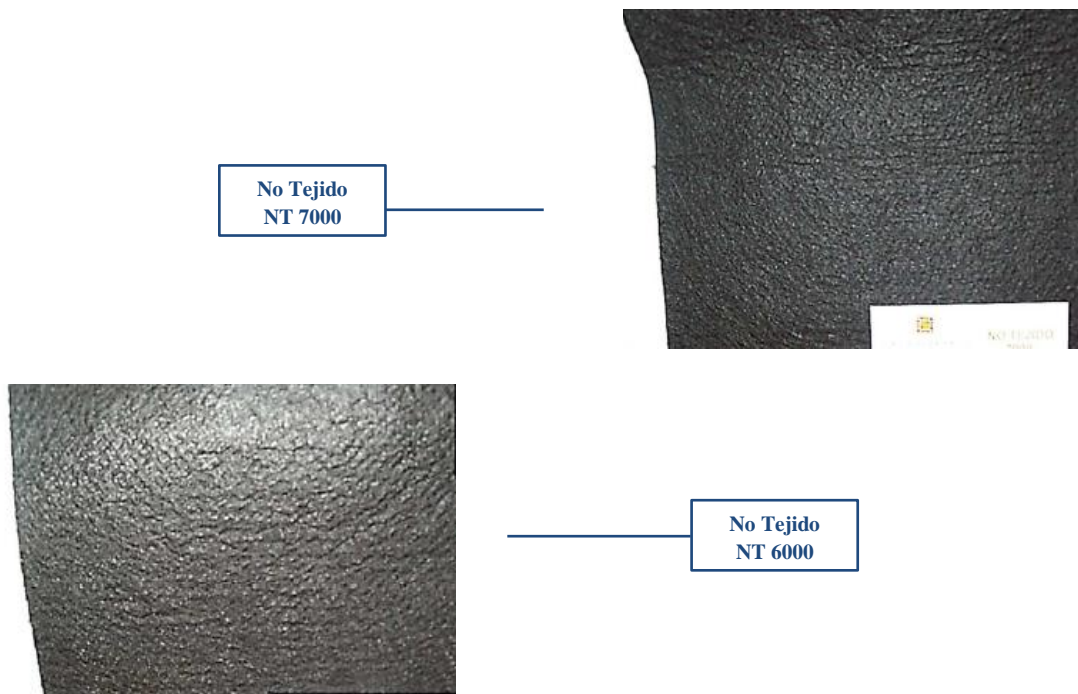
No Tejido  
NT 1600



No Tejido  
NT 2000



No Tejido  
NT 3000



*Fuente de las fotografías: Manual de Geotextiles Pavco (Colombia)*

Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas características mecánicas manteniendo un espesor uniforme, el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptación a las irregularidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

Los geotextiles no tejidos a su vez se clasifican en:

***Geotextiles no tejidos ligados mecánicamente o agujados***

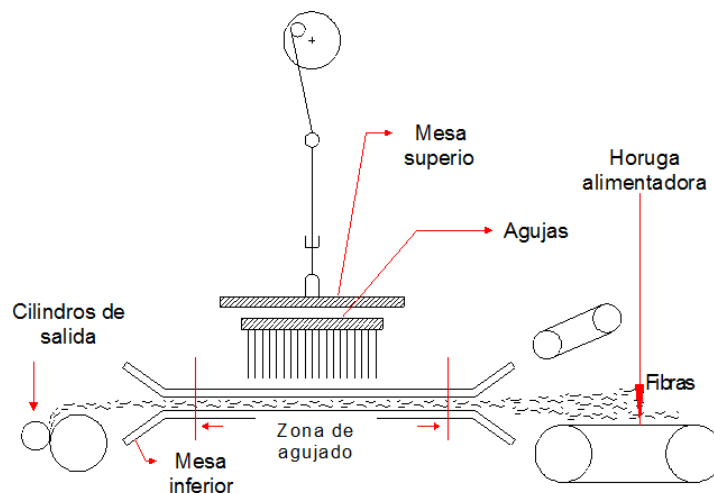
Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos mezclados aleatoriamente, conformando lo que se denomina como velo o napa, el cual se consolida al pasar por un tablero de agujas en la máquina punzonadora, dichas agujas se mueven en sentido alternativo, subiendo y bajando a altas velocidades penetrando en la napa y entrelazando las fibras, esto se obtiene por que el perfil de las agujas no es regular, si no que están provistas de unas espigas o salientes en dirección a su sentido de

penetración, lo cual hace penetrar a las fibras sin llevárselas en su movimiento de retroceso.

La frecuencia de golpes o penetraciones de las agujas va consolidando el geotextil no tejido.

Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas 17 características mecánicas manteniendo en parte el espesor de la napa el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a las desuniformidades de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación. (Ver Figura 2.4)

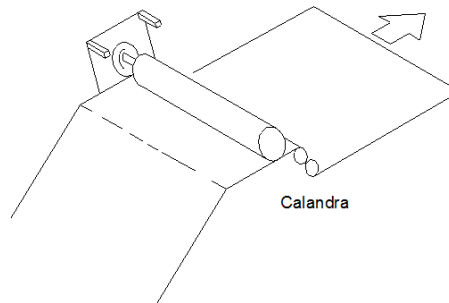
*Figura 2.4. Proceso mecánico*



*Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft\_Pavco*

**Geotextiles no ligados térmicamente o termosoldados.-** Se forman a partir de una napa o velo en la que la unión de fibras y consolidación del geotextil se logra por fusión de las fibras y soldadura en los puntos de intersección mediante un calandrado a temperatura elevada. Su espesor y su elongación son sensiblemente inferiores a la de los agujados, por lo cual su transmisividad y permeabilidad son menores, tienen buenas propiedades mecánicas y poca flexibilidad (son algo rígidos). (Ver Figura 2.5)

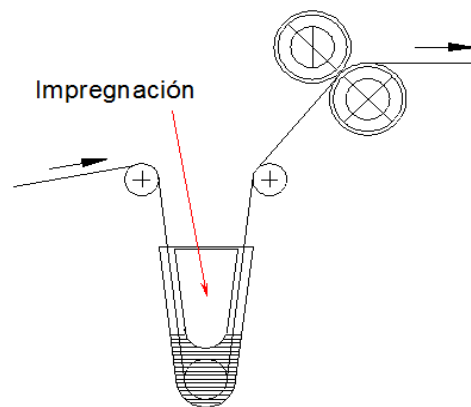
*Figura 2.5. Proceso térmico*



*Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft\_Pavco*

**Geotextiles no tejidos químicamente o resinados.-** La unión entre sus filamentos se consigue incorporando ligantes químicos o resinas. Este sistema no se utiliza para la fabricación de geotextiles de protección y separación, puesto que en su composición (de los de protección) deben de evitarse elementos químicos distintos a los polímeros que pudiesen alterar sus propiedades y provoquen incompatibilidades químicas con otros materiales con los que pudiese estar en contacto. Su empleo está muy poco extendido debido a su elevado costo. (Ver Figura 2.6)

*Figura 2.6. Proceso químico*



*Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft\_Pavco*

### ➤ Clasificación de los geotextiles según su composición

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al Geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo al

presentar gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

✓ **Fibras naturales**

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de Geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.

✓ **Fibras artificiales**

Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.

✓ **Fibras sintéticas**

Cuando al Geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos.

Los Geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias.

Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico.

**a) Características de los geotextiles**

Las características generales de los geotextiles y productos relacionados se especifican en la norma UNE-EN ISO 10320, y se refieren a los datos que debe facilitar el fabricante o suministrador del producto para su identificación: Datos del fabricante, nombre, marca comercial y tipo de producto, fecha de fabricación, identificación de la unidad, masa bruta nominal dimensiones de la unidad (en general, rollo), masa nominal por unidad de superficie, tipo de polímero principal, y clasificación del producto según la norma UNEEN ISO 10318.

**Masa por unidad de superficie o gramaje.-** La masa por unidad de superficie vendrá expresada en gramos por metro cuadrado, y permite un control simple y sencillo de identificación del producto. No debe, sin embargo, considerarse parámetro de diseño ni único para su identificación.

**Espesor.-** Según el procedimiento de fabricación, los geotextiles o productos relacionados pueden ser más o menos compresibles perpendicularmente a su plano.

Por esta razón, el espesor se especifica para tres presiones diferentes, 2, 20 y 200 kN/m<sup>2</sup>.

**Características físico-mecánicas.-** Las características físico-mecánicas más relevantes de los geotextiles o productos relacionados son:

*Resistencia a tracción y alargamiento.-* La resistencia a tracción y el alargamiento en la rotura tienen una importancia primordial cuando el geotextil o producto relacionado tiene sollicitaciones mecánicas, y, en todos los casos, para sobrevivir a la puesta en obra. Se suele determinar la carga máxima y alargamiento en el punto de carga máxima.

*Resistencia al punzonamiento estático.-* Mide el comportamiento de un geotextil o producto relacionado bajo una carga estática. Por ejemplo, cuando se utiliza como separador, o como protección de una barrera geosintética.

*Resistencia a la perforación dinámica por caída de cono.-* Mide la resistencia a cargas dinámicas del geotextil o producto relacionado.

Está relacionada con la vulnerabilidad de los geotextiles a los impactos producidos, por la caída de materiales sobre ellos, durante su puesta en obra.

*Eficacia de la protección.-* Mide la eficacia con la que un geotextil o producto relacionado protege a una barrera geosintética contra los efectos mecánicos a largo plazo de cargas estáticas puntuales.

**Características hidráulicas.-** Las propiedades hidráulicas deben ser consideradas cuando el geotextil, o producto relacionado, realiza las funciones de filtro o de drenaje. Se consideran la permeabilidad normal al plano del geotextil o producto relacionado y la permeabilidad en su plano, así como la medida de la abertura característica, que fija el diámetro de partículas de suelo que pueden ser retenidas por el geotextil, y, por tanto, su eficacia como filtro.

**Durabilidad.-** Es la propiedad por la cual un material mantiene sus características con el paso del tiempo.

Los geotextiles o productos relacionados están sujetos a diversas formas de degradación como son: las mecánicas (abrasión, fatiga, fluencia, desgarró), ataques químicos (ácidos, bases, disolventes orgánicos), hidráulicos (colmatación y humedad), así como el ataque biológico y fotoquímico.<sup>13</sup>

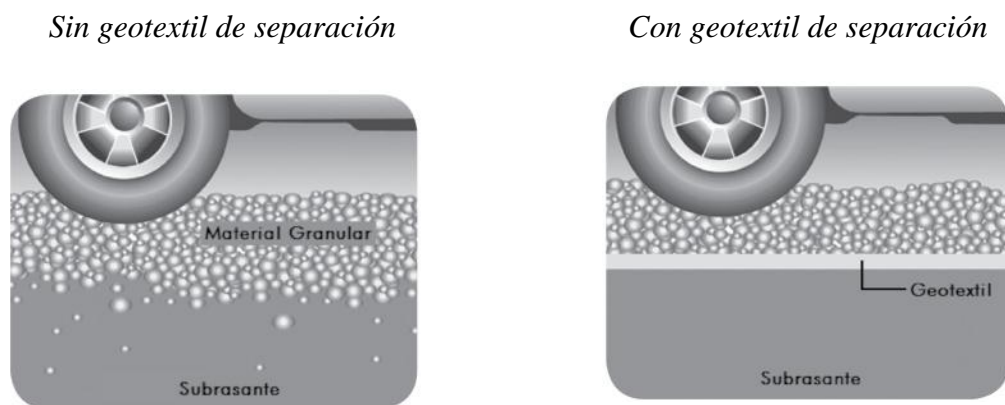
### c) Funciones de los geotextiles

El uso de los geotextiles Tejidos y No Tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar.

A continuación se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles:

**Función de separación.-** Esta función, desempeñada por los geotextiles consiste en la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla de material. (Ver Fig. 2.7)

*Figura 2.7. Sección transversal de una estructura de pavimento*

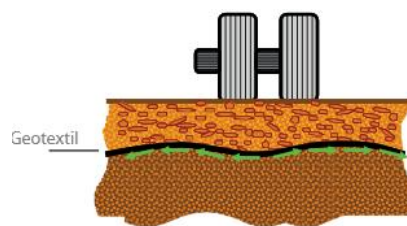


*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

<sup>13</sup> Boletín Técnico N°3 Aplicaciones con Geosintéticos Parte 1 MEXICHEN Costa Rica S.A. Departamentos de Proyectos Soluciones Integrales <http://www.mexichem.cr/boletines/boletin3.pdf>

**Función refuerzo.-** En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras. El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción. (Ver Figura 2.8)

*Figura 2.8. Geotextil usado como refuerzo*

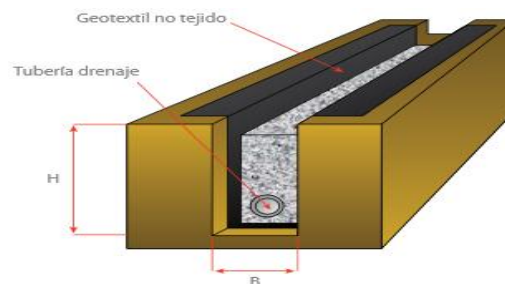


*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

**Función de drenaje.-** Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil.

Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el geotextil debe impedir el lavado ó transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión. (Ver Figura 2.9)

*Figura 2.9. Geotextil debe impedir el lavado ó transporte de partículas finas*

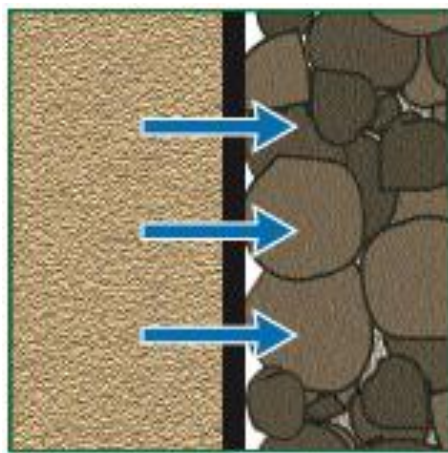


*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

**Función filtro.-** Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas del terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases. (Ver Figura 2.10)

En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos.

*Figura 2.10. Geotextil impide el paso de fluidos y gases*



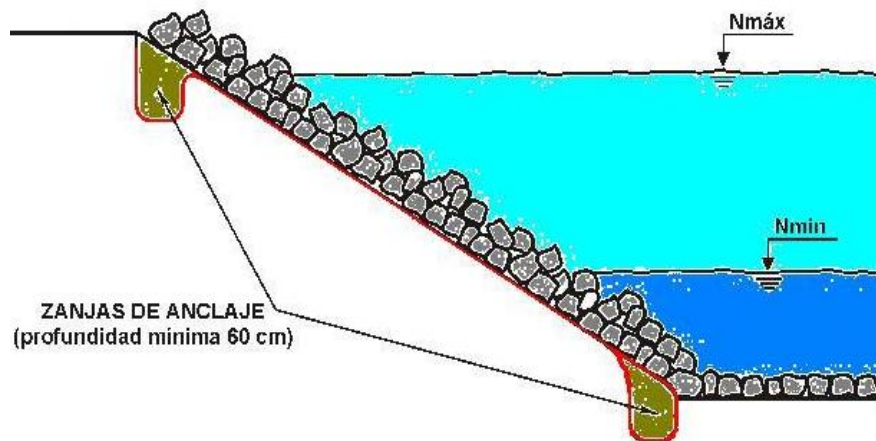
*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

**Función protección.-** Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana. (Ver Figura 2.11)

El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc.

También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante.

Figura 2.11. Geotextil utilizado debajo de un enrocado para protección de un talud



Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft\_Pavco

#### d) Aplicaciones de los Geotextiles

Según su función los geotextiles se pueden aplicar en diversos campos ingenieriles:

##### Geotextiles para separación

- ✓ Entre la estructura de pavimento y suelo de fundación con VRS (CBR) entre 3% y 10% (vías pavimentadas, no pavimentadas, vías férreas, aeropuertos).
- ✓ Entre la cimentación y terraplenes de suelos.
- ✓ Filtración y separación en estructuras hidráulicas (gaviones, canales, Rip Rap etc)
- ✓ Se utilizan para refuerzo de suelos de subrasante blandos compresibles en la construcción de vías, dado que otorgan una componente estructural que permite la compactación eficiente de las capas granulares y reducen el espesor requerido.

##### Geotextiles para estabilización de suelos blandos

- ✓ Entre la estructura de pavimento y suelo de fundación con VRS (CBR) menor al 3% (vías pavimentadas, no pavimentadas, vías férreas, aeropuertos).
- ✓ Conformación de terraplenes, plataformas, vías y cimentaciones sobre suelos extremadamente blandos.

### **Geotextiles para sistemas de drenaje**

- ✓ Filtros tradicionales en vías, estacionamientos, edificaciones y campos deportivos.
- ✓ Colchones drenantes bajo estructuras como terraplenes y vías.

### **Geotextiles para pavimentación y repavimentación**

- ✓ En repavimentación de estructuras de pavimento (vías, pistas aeropuertos, estacionamientos, etc).
- ✓ En la construcción de estructuras asfálticas nuevas.
- ✓ Para absorber diferencias de rigidez en la base de estructuras asfálticas muy propias de carreteras.

### **Geotextiles para estructuras en suelo reforzado**

- ✓ Conformación de bancas y estructuras de contención en vías.
- ✓ Incremento de ángulos de inclinación de la cara, en taludes y terraplenes.
- ✓ Reconformación de deslizamientos <sup>14</sup>

#### **2.2.2. Geomallas**

Las Geomallas son otro tipo de geosintéticos muy usada para dar soluciones a problemas ingenieriles, se la puede definir como “ una estructura de forma plana, a base de polímeros, química y biológicamente inertes, resistentes a procesos degenerativos de los suelos, que conforma una red regular con todos sus elementos conectados de forma integrada, ya sea por extrusión, soldadura o tejido, cuyas aberturas son usualmente mayores que los componentes del suelo natural y son usadas en aplicaciones como geotecnia, protección ambiental, hidráulica e ingeniería vial.”<sup>15</sup>

##### **a) Tipos de Geomallas**

**Geomallas coextruidas:** Existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos. Uno de estos, antiguo y todavía efectivo, consiste en reforzar

<sup>14</sup> Boletín Técnico Geotextiles Tejidos y No Tejidos Funciones y Aplicaciones. Mexichen PAVCO [http://www.mexichem.com.mx/Sol\\_Integrales/Geosinteticos/pdfs/Infraestructura/Catalogo%20Funciones%20Aplicaciones%20Geotextiles](http://www.mexichem.com.mx/Sol_Integrales/Geosinteticos/pdfs/Infraestructura/Catalogo%20Funciones%20Aplicaciones%20Geotextiles).

<sup>15</sup> Rubén Tino Ramos, Ingeniero Técnico de Obras Públicas y Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales. Jefe de Sección de la Unidad de Carreteras de Zamora del Ministerio de Fomento. [http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra370\\_11.pdf](http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra370_11.pdf)

el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión.

Tradicionalmente estos efectos se obtenían usando ramas trenzadas o colocando troncos de forma perpendicular.

La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geomallas bi-orientadas coextruídas

Las geomallas coextruídas son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.<sup>16</sup>

### **Geomallas Coextruídas Mono-Orientadas**

Las geomallas mono-orientadas, son estructuras bi-dimensionales producidas de polietileno de alta densidad (HdPe) utilizando un proceso de extrusión seguido de un estiramiento mono-direccional.

Este proceso permite obtener una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, desarrollando así gran fuerza a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. (Ver Figura 2.12)

La estructura de este tipo de geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo especialmente de tipo granular.

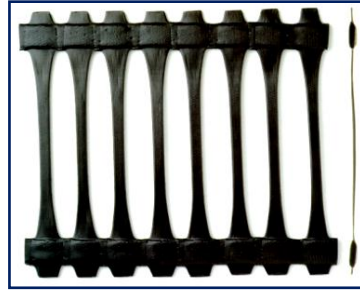
Este tipo de geomallas coextruídas de HdPe, son totalmente inertes a las condiciones químicas o biológicas externas que se presentan normalmente en el suelo, poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 16 Kn/m aproximadamente.

Esto, con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, da como resultado el concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del concreto y el acero de refuerzo.<sup>17</sup>

<sup>16</sup>Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9ª Edición Departamento de Ingeniería

<sup>17</sup>Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9ª Edición Departamento de Ingeniería

*Figura 2.12. Geomalla Uniaxial*



*Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos – Geosoft\_Pavco*

### **Geomallas Coextruídas Bi-Orientadas**

Este tipo de geomallas son estructuras bi-dimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas de forma longitudinal y transversal. (Ver Figura 2.13)

Este proceso genera una estructura de distribución uniforme de espacios rectangulares de alta resistencia a la tensión en ambas direcciones y un alto módulo de elasticidad.

Así mismo, la estructura de la geomalla permite una óptima trabazón con el suelo.

Este tipo de geomallas coextruídas se componen de elementos y nudos rígidos que proveen un gran confinamiento. Son particularmente efectivas para reforzar estructuras de pavimentos rígidos y flexibles.<sup>18</sup>

*Figura 2.13 Geomallas Biaxial*



*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

<sup>18</sup>Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9ª Edición Departamento de Ingeniería

### **b) Características de las geomallas**

**Resistencia a la Tracción:** dependen de la geometría y sobrecargas previstas en la estructura.

**Resistencia a largo Plazo:** contempla los diferentes factores reductores debidos a la fluencia del material, ambientales y de instalación.

**Coefficiente de interacción con el suelo:** adherencia efectiva de la armadura con el suelo circundante

**Permeabilidad:** Capacidad de flujo de agua

### **c) Funciones de las geomallas**

La principal función de las geomallas coextruídas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso del tipo de geomalla esta ligado a la dirección en que los esfuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como muros en suelo reforzado o en terraplenes, se utilizan las geomallas mono-orientadas que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal. Mientras, que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo estructuras de pavimento o cimentaciones superficiales, se utilizan geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los dos sentidos de la grilla.<sup>19</sup>

**Geomallas biaxiales actúan como refuerzo.-** Trabazón de agregados optimiza la distribución de esfuerzos sobre el suelo de fundación (reduciendo las deformaciones sobre éste) y restringe el desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase, aumentando y mejorando su confinamiento y resistencia.

La abertura de la malla permite una alta adherencia entre las diferentes capas granulares de la estructura del pavimento. La Geomalla, adicionalmente, aumenta la resistencia a la tensión de las capas de base, tanto en vías no pavimentadas como en estructuras de pavimentos flexibles y rígidos, por lo tanto, son ideales para el refuerzo de suelos. (Ver Figura 2.14)

*Figura 2.14. Descripción funcionamiento granulares*

*Sin refuerzo*



*Con refuerzo*



*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

En estructuras de pavimentos puede tener los siguientes efectos:

Aumentar la vida útil de la estructura inicial.

Disminuir espesores de granulares al reemplazar parte de estos por el aporte que genera la Geomalla. (Ver Figura 2.15)

Disminución del impacto ambiental cuando se disminuye el espesor de granulares ya que éste es un recurso natural no renovable.

*Figura 2.15. Diseño estructural de pavimento*

*Sin geomalla*



*Con geomalla*



*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

**Estabilización de suelos blandos.-** En la construcción de vías terrestres se presentan frecuentemente problemas de asentamientos diferenciales en zonas arcillosas, o bien

<sup>19</sup> Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9ª Edición Departamento de Ingeniería

en zonas arenosas, donde se produce el fenómeno de licuación, las cuales se pueden estabilizar por medio de Geomallas. En este caso, las Geomallas Biaxiales tienen la función de distribuir, en un área mayor, las cargas transmitidas por los vehículos, aumentando la capacidad de carga de los suelos de base, reduciendo las deformaciones sobre la superficie de rodamiento, otorgando mayor vida útil a las estructuras de pavimento y ahorros en futuras rehabilitaciones. (Ver Figura 2.16)

*Figura 2.16. Geomalla para estabilizar suelos blandos Ciudadela Cafam-Bogotá, 2005*



*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

Si se piensa construir una vía sobre un suelo blando saturado, pueden aparecer problemas ocasionados por el tráfico durante o después de la construcción. El suelo de base se puede mezclar con el suelo blando o se pueden presentar movimientos horizontales y verticales de la base, produciendo fallas profundas y grietas en la superficie.

Esto se puede evitar, incrementando la capacidad de carga del suelo de cimentación y limitando los movimientos del suelo de base. Existen varias técnicas para incrementar la capacidad de carga de los suelos blandos, una de estas es reforzar la base, de tal forma, que la masa de suelo pueda resistir mayores niveles de esfuerzo cortante y la transmisión de estos esfuerzos al suelo blando sean reducidos. La construcción usualmente incluye excavación de material blando, colocando las Geomallas y rellenando con material granular a la profundidad requerida. Las Geomallas

refuerzan la base de la vía y limitan los movimientos horizontales y verticales del suelo.

De esta forma, las Geomallas mejoran considerablemente la capacidad de carga de la base para un mismo espesor o reducen espesores para una misma capacidad de carga

*Geomallas Uniaxiales utilizadas en refuerzos de estructuras.-* Las Geomallas Uniaxiales son estructuras bi-dimensionales producidas en polietileno de alta densidad (HDPE, High Density Polyethylene), utilizando un proceso de extrusión, seguido de un estiramiento mono-direccional.

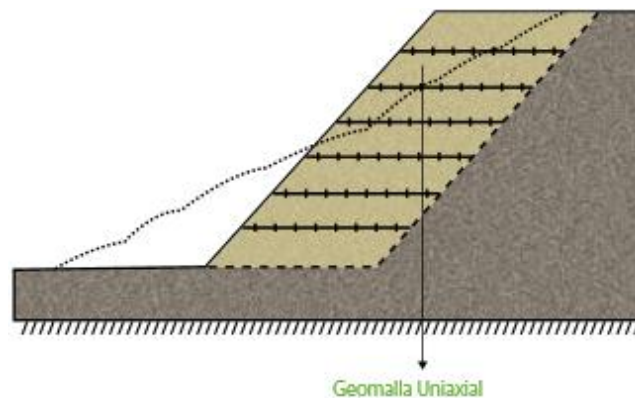
Este proceso único permite una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, obteniendo gran fuerza y módulo de tensión en la dirección longitudinal.

La estructura de estas Geomallas provee un sistema de trabazón óptimo con el suelo.

Este tipo de Geomallas son completamente inertes a las condiciones químicas y biológicas que se presentan normalmente en el suelo; poseen gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 160 kN/m.

Esto, en combinación con la capacidad del suelo de absorber los esfuerzos de compresión, dan como resultado el concepto de estructura de suelo reforzado, similar al concepto del concreto y acero de refuerzo. (Ver Figura 2.17)

*Figura 2.17. Esquema talud reforzado con Geomallas Uniaxiales*



*Fuente: Manual de Diseño con Mexichem Geomallas-Costa Rica*

#### **d) Aplicaciones de las geomallas**

El uso de las geomallas coextruídas bi-orientadas y mono-orientadas, en diferentes campos de aplicación se define básicamente por su función de refuerzo.

Esta función se realiza cuando la geomalla inicia un trabajo de resistencia a la tensión complementado con un trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruídas mono-orientadas se enuncian a continuación:

- Refuerzo de muros y taludes.
- Refuerzo de terraplenes con taludes pronunciados y diques.
- Estabilización de suelos blandos.
- Reparación de deslizamientos.
- Ampliación de cresta de taludes.
- Reparación de cortes en taludes.
- Estribos, muros y aletas de puentes.
- Muros vegetados o recubiertos con concreto.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruídas bi-direccionales se enuncian a continuación:

- Terraplenes para caminos y vías férreas.
- Refuerzo en bases de caminos pavimentados y no pavimentados.
- Refuerzo en estructuras de pavimento de pistas de aterrizaje en aeropuertos.
- Refuerzo debajo del balasto de las vías de ferrocarril.
- Como sistema de contención sobre rocas fisuradas.

El principal criterio de escogencia del tipo de geomalla es básicamente estudiando cómo se generan y transmiten los esfuerzos a lo largo de la estructura a reforzar, por

ejemplo en muros en suelo reforzado, sabemos que los esfuerzos principales están en una sola dirección debido a la presión lateral de tierras que el suelo retenido ejerce sobre la estructura.

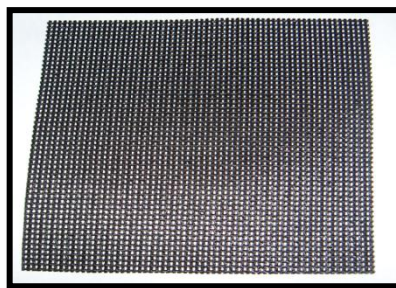
Mientras que para refuerzo en estructuras de pavimento, los esfuerzos verticales generados por el tráfico, son disipadas en varias direcciones, por lo que el diseño de la geomalla para realizar el refuerzo debe tener las mismas propiedades mecánicas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal.<sup>20</sup>

### 2.2.3. Geogrilla

Estructuras de mallas planas, ortogonales y abiertas de elevado módulo de rigidez y baja fluencia, constituídas por filamentos tejidos sintéticos (poliéster, poliamida o polivinil alcohol) con revestimiento polimérico, aptas para resistir elevados esfuerzos a la tracción. Para refuerzo de terraplenes, muros de suelo reforzado y repavimentación asfáltica.<sup>21</sup>

La geogrilla es un tejido técnico, producido a partir de filamentos de poliéster de alta tenacidad que, con bajos valores de elongación, movilizan elevada resistencia a la tracción. Los tejidos técnicos son fabricados a través de entrelazamiento sinuoso de los elementos. Para su protección contra daños de instalación, ataques químicos, biológicos y ambientales, los tejidos técnicos de la geogrilla son revestidos con PVC. Son materiales extremadamente versátiles y pueden ser utilizados en la construcción civil, ingeniería ambiental y entre otras aplicaciones

*Fig. 2.18. Geogrilla*



*Fuente: Elaboración Propia.*

<sup>20</sup> Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9ª Edición Departamento de Ingeniería

<sup>21</sup> Manual de diseño con Geosintéticos Coripa S.R.L.

### **a) Funciones de las Geogrillas**

Una *estructura de grilla abierta* para interactuar con el material de relleno y formar un material compuesto con mucha mayor capacidad portante.

*Alta Resistencia en las Uniones*, para asegurar que las cargas sean transferidas a través de la grilla.

*Rigidez torsional*, para simplificar la instalación y resistir la deformación una vez instalada.

*Alto módulo de tracción*, para resistir la carga dinámica.

*Durabilidad*, para resistir a las tensiones generadas durante su colocación y resistir la degradación una vez instalada.<sup>22</sup>

### **b) Ventajas del uso de geogrillas**

*Cuando el terreno blando ocasiona el detenimiento de la obra*, las geogrillas ponen nuevamente en movimiento ya que refuerzan el relleno y distribuyen las cargas sobre un área mayor para mejorar el acceso a la zona de trabajo, aun usando equipo pesado. Durante la construcción, las geogrillas permiten mantener el acceso aun durante condiciones de tiempo húmedo.

En todos los casos, reducen las fallas del terreno.

*Cuando se requiere excavación y reemplazo del suelo blando* (con costosos suelos de relleno seleccionados), las geogrillas pueden reducir o eliminar por completo esta necesidad, colocando una capa de geogrilla (Ver. Fig. 2.19).

Los resultados son: mucho menos tiempo para terminar el trabajo, menor tráfico en el sitio y costos más bajos.

*Cuando se considera la estabilización química del suelo blando*, las geogrillas presentan una alternativa ya que, con ellas, se puede obtener la resistencia requerida del suelo sin tener que recurrir al tiempo, costo o peligros ambientales de los métodos de estabilización química, y sin impedir la capacidad de drenaje de la subrasante.<sup>23</sup>

<sup>22-23</sup> Tecnologías exclusivas S.A. /Boletín Técnico N°001-01/Utilización de Geogrillas TENSAR en suelos blandos

*Fig. 2.19. Colocación de una capa de Geogrilla*



*Fuente: Elaboración Propia.*

#### **2.2.4. Productos relacionados**

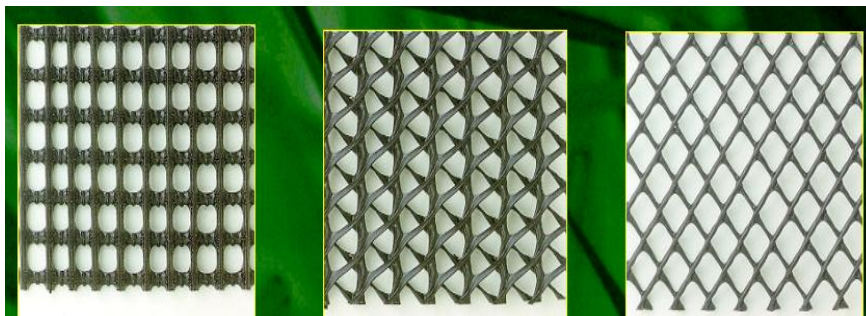
Son aquellos que por sí solos o adosados a un geotextil cumplen funciones tales como: refuerzo, drenaje en el plano, control de erosión, etc.

Dentro de ellos se encuentran: Geomallas, Geored, Geoceldas y Geomantas.

##### **a) Georedes**

Estructura tridimensional permeable constituida de filamentos, fibras y/u otros elementos (sintéticos o naturales) a base de polímeros, ligados por medios mecánicos, térmicos o químicos y/o por cualquier otro medio, es usada en contacto con el suelo o con otros materiales, por ejemplo, para mantener partículas, raíces y pequeñas plantas en el suelo.<sup>24</sup> (Ver Figura 2.20)

*Figura 2.20. Georedes*



*Fuente: Seminario de Geosintéticos MACCAFERRI*

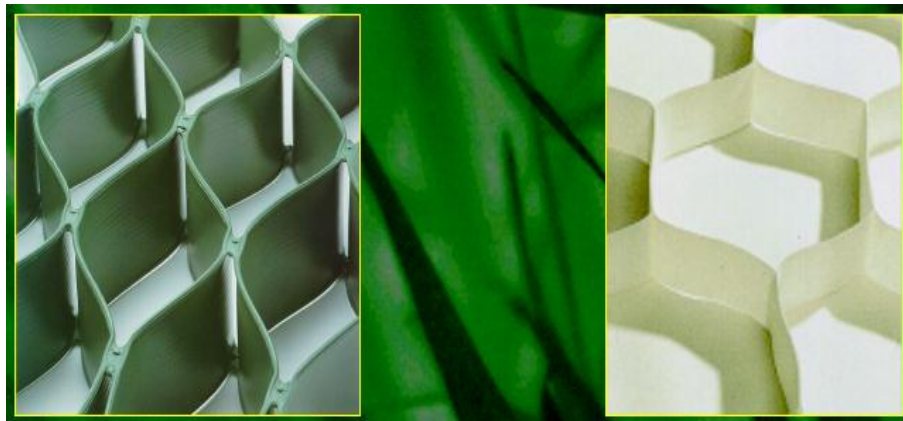
<sup>24</sup>LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

Las georedes generalmente son utilizadas en conjunto con geotextiles como filtros y/o geomembranas como elementos de retención, ejerciendo la función de drenaje, con una óptima resistencia a los esfuerzos de compresión.

#### **b) Geoceldas o geocélulas**

Estructura tridimensional permeable a base de polímeros (sintéticos o naturales), con forma de matriz de celdas huecas, constituida por bandas de geotextiles o geomembranas ligadas alternativamente y usada en contacto con el suelo o con otros materiales. (Ver Figura 2.21)

*Figura 2.21. Geoceldas*



*Fuente: Seminario de Geosintéticos MACCAFERRI*

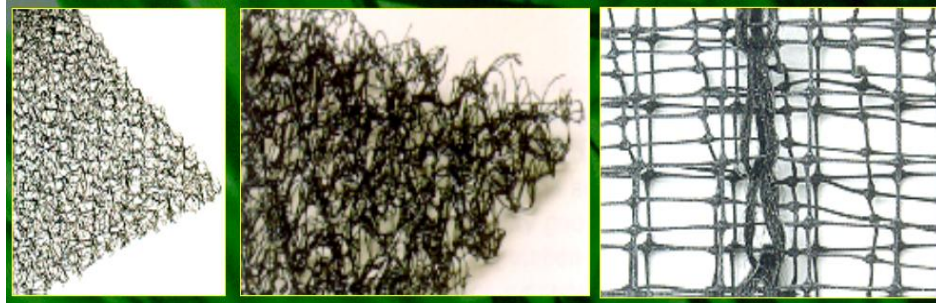
#### **c) Geomantas**

Estructura plana a base de polímeros (naturales o sintéticos) constituida por una red densa y regular cuyos elementos están ligados por nudos o por procesos térmicos, y cuyas aberturas tienen dimensiones superiores a las de sus constituyentes.

Las geomantas pueden ser aplicadas sobre pendientes suaves y pronunciadas, mejorando la resistencia a la erosión provocada por el impacto de las gotas de lluvia y por el flujo del agua superficial.

Garantizando un refuerzo superficial del suelo durante el crecimiento de la vegetación. (Ver Figura 2.22)

*Figura 2.22. Geomantas*



*Fuente: Seminario de Geosintéticos MACCAFERRI*

#### **d) Geosintético bentonítico**

Estructura ensamblada en fábrica, constituida de materiales sintéticos y materiales bentoníticos de baja conductividad hidráulica (por ejemplo bentonita) que se presenta en forma de lámina, usada en contacto con el suelo y/u otros materiales. Su constituciones tipo sándwich con un material bentonítico entre dos geotextiles o un geotextil y una geomembrana. (Ver Figura 2.23)

*Figura 2.23. Geosintético bentonítico*



*Fuente: Seminario de Geosintéticos MACCAFERRI*

#### **e) Geocompuestos**

Es un ensamblado manufacturado de materiales, de los cuales al menos uno de los componentes es un producto Geosintético, usado en contacto con el suelo o con otros materiales.

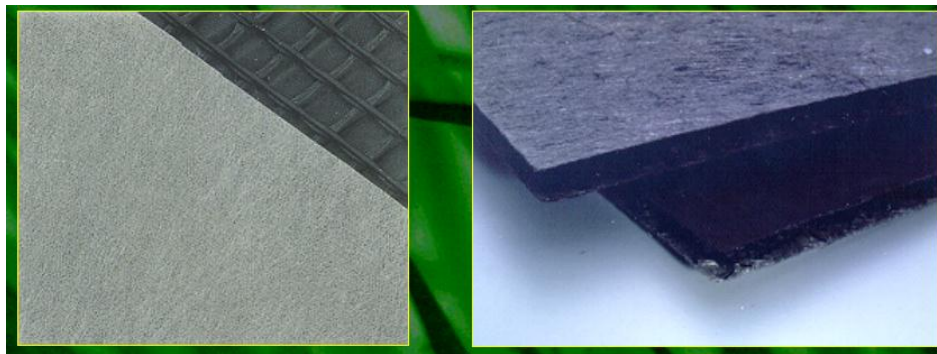
Los geocompuestos consisten en una combinación de geotextiles y georedes; geogrillas y geomembranas; o geotextiles, geogrilla, y geomembrana; o alguno de estos cuatro geosintéticos con otro material.

Las áreas de aplicación son numerosas, entre las que se encuentran: separación, refuerzo, filtración, drenaje y barrera de vapor.<sup>25</sup> (Ver Figura 2.24)

*Figura 2.24 Geocompuesto*

*Geomembrana + Geotextil*

*Geomembrana+Geodren*



*Fuente: Seminario de Geosintéticos MACCAFERRI*

### **2.3. FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS GEOSINTÉTICOS**

Los materiales geosintéticos realizan cinco funciones principales: separación, refuerzo, filtración, drenaje y protección.<sup>26</sup>

Al mencionar función del material nos referimos al papel específico que realiza un geosintético en una estructura de suelo/geosintético.

Es una tarea o capacidad específica que se espera que el producto realice durante la totalidad del proyecto o la instalación.<sup>27</sup>

Un geosintético puede desempeñar más de una función al mismo tiempo para una aplicación dada.

Típicamente, se determina que una función es más importante y se considera la función primordial del geosintético, con cualquier otra función concurrente considerada como secundaria<sup>28</sup>

<sup>25-26-27-28</sup> LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

Tabla 2.1 Funciones de los geosintéticos en aplicación

	Geotextiles	Geocompuestos	Geomembranas	Geomallas
<b>Separación</b>	X			
<b>Filtración</b>	X	X		
<b>Refuerzo</b>	X			X
<b>Drenaje</b>	X(1)	X		
<b>Protección</b>	X			
<b>Barrera</b>	X(2)		X	
(1) En ciertas aplicaciones de rellenos sanitarios				
(2) Cuando está saturada con una capa ligante				

FUENTE: (LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

Cada una de estas funciones puede estar definida en términos del papel que este desempeñe durante la instalación. A continuación se presenta una definición y descripción de cada una de las funciones mostradas en la tabla anterior.

Tabla 2.2 Funciones de los geosintéticos en obra

Campos de aplicación	Funciones del Geosintético					
	Separación	Filtración	Refuerzo	Drenaje	Protección	Barrera
Camino	X	XX	XX	XX		
Reasfaltado			XX			X
Construcciones ferrov.	X	X				
Construcciones hidrául.	XX	X				
Drenajes	XX	X		XX		
Campos deportivos	X	X				
Terraplenes	X	XX	XX	XX		
Drenes verticales		X		X		
Muros de contención			X	XX		
Túneles				X	X	
Depósitos de líquidos			XX	XX	X	
X=Función Principal						
XX=Función Secundaria						

Fuente: Seminario de Geosintéticos MACCAFERRI

*Tabla 2.3 Descripción de los geosintéticos según su función*

<b>FUNCIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRODUCTOS</b>
Filtración	Permitir el pasaje de los fluidos, reteniendo la migración de las partículas de suelo.	Geotextiles Geocompuestos
Drenaje	Facilitar el transporte de fluidos	Georedes Geocompuestos
Separación	Evitar la mezcla de dos tipos de suelos diferentes o materiales diferentes.	Geotextiles Geocompuestos
Protección	Evitar daños a una estructura, a un material, a otro geosintético.	Geotextiles Georedes Geocompuestos
Impermeabilización	Formar una barrera a los fluidos	Geomembranas Geocompuestos
Refuerzos de muros y taludes	Proporcionar resistencia a la fuerza de tracción en el suelo.	Geogrilla monodireccional Geotextiles
Refuerzo de suelos blandos	Aumenta la capacidad de soporte del suelo.	Geogrilla bidireccional Geotextiles Geocompuestos
Refuerzo de pavimentos	Proporciona resistencia a la tracción y a la fatiga.	Geogrilla bidireccional Geotextiles
Control de erosión o Estabilización superficial.	Evita el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo provocado por la lluvia, el escurrimiento superficial y el viento.	Geomantas Geocélulas Biotejidos Biomantas
Confinamiento	Retención del movimiento superficial del suelo	Geocélulas

*Fuente: Seminario de Geosintéticos MACCAFERRI*

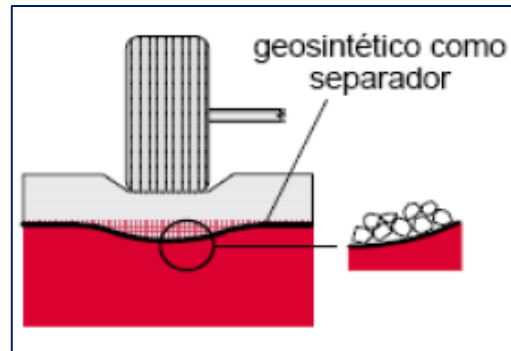
**Separación:** Los geosintéticos actúan para separar dos capas de suelo que tienen diferentes distribuciones de partículas.

Por ejemplo, los geotextiles son usados para prevenir que materiales de base penetren en suelos blandos de estratos subyacentes, manteniendo la espesura de diseño y la integridad de la vía (Ver Figura 2.25).

Separadores ayudan también en la prevención del acarreamiento de granos finos en dirección de estratos granulares permeables.<sup>29</sup>

<sup>29</sup>Folleto educativo sobre geosintéticos y sus aplicaciones. IGS Internacional Geosynthetic Society. [http://www.igsargentina.com.ar/pdf/Folleto\\_Educacionales\\_de\\_la\\_IGS.pdf](http://www.igsargentina.com.ar/pdf/Folleto_Educacionales_de_la_IGS.pdf)

Figura 2.25 Función de separación



Fuente de la fotografía: *Mecánica de Suelos y Geología – FIUBA*

**Filtración:** Los geosintéticos actúan en forma similar a un filtro de arena permitiendo el movimiento de agua a través del suelo y reteniendo las partículas traídas por el flujo. Por ejemplo, los geotextiles son usados para prevenir la migración de agregados de los suelos o la formación de canchales cuando se tiene drenaje en el sistema (Ver Figura 2.26). Los geotextiles son usados también debajo de “rip-rap” y otros materiales en sistemas de protección para prevenir la erosión del suelo como en terraplenes de ríos y costas.<sup>30</sup>

Figura 2.26 Geosintético como filtro



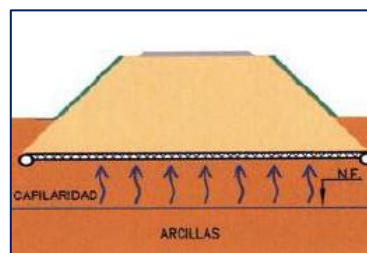
Fuente de la fotografía: *Mecánica de Suelos y Geología – FIUBA*

**Drenaje:** Los geosintéticos actúan como drenes para conducir el flujo a través de suelos menos permeables. Por ejemplo, los geotextiles son usados para disipar las presiones de poro en la base de terraplenes viarios sistema (Ver Figura 2.27)

<sup>30</sup>Folletos educativos sobre geosintéticos y sus aplicaciones. IGS Internacional Geosynthetics Society. [http://www.igsargentina.com.ar/pdf/Folletos\\_Educacionales\\_de\\_la\\_IGS.pdf](http://www.igsargentina.com.ar/pdf/Folletos_Educacionales_de_la_IGS.pdf)

Para grandes flujos fueron desarrollados drenes de geocompuestos. Estos materiales han sido usados como drenes de canto en pavimentos, drenes de interceptación en taludes, y drenes de contrafuertes y muros de contención. Drenes verticales prefabricados (PDV's) han sido usados para acelerar la consolidación de fundaciones con suelos blandos cohesivos debajo de terraplenes y rellenos previamente cargados.<sup>31</sup>

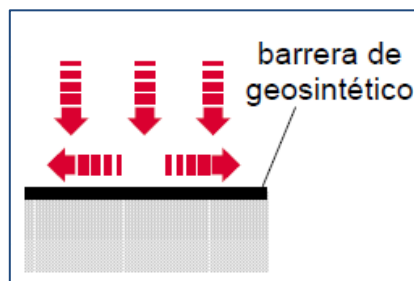
*Figura 2.27 Función de drenaje planar. El agua es drenada por el geosintético hacia las obras de drenaje colocadas a lo largo de la vía.*



*Fuente: Seminario de Geosintéticos MACCAFERRI*

**Contención de fluido/gas barrera:** Los geosintéticos actúan como una barrera impermeable para fluidos y gases sistema (Ver Figura 2.28). Por ejemplo, Geomembranas, películas finas de geotextil, revestimientos de arcilla geosintética (GCLs), y geotextiles revestidos son usados como barreras que impiden el flujo de líquidos o gases. Esta función es usada también en pavimentos, encapsulación de suelos expansivos y contenedores de desperdicios<sup>32</sup>

*Figura 2.28 Barrera de Geosintético para fluidos y gases*

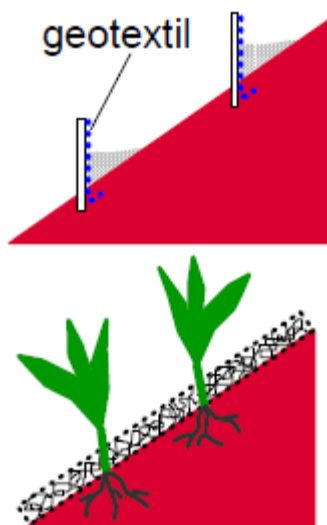


*Fuente de la fotografía: Mecánica de Suelos y Geología – FIUBA*

<sup>31-32</sup>Folletos educativos sobre geosintéticos y sus aplicaciones. IGS Internacional Geosynthetic Society.  
[http://www.igsargentina.com.ar/pdf/Folletos\\_Educacionales\\_de\\_la\\_IGS.pdf](http://www.igsargentina.com.ar/pdf/Folletos_Educacionales_de_la_IGS.pdf)

**Control de erosión:** Los geosintéticos actúan para reducir la erosión del suelo causado por el impacto de lluvias y escorrentía de aguas de superficie. Por ejemplo, mantas temporales de geosintéticos y tapetes livianos permanentes de geosintéticos son colocados sobre los taludes evitando la exposición del suelo.

Barreras de geotextil son usados en la retención de partículas traídas por la escorrentía superficial sistema (Ver Figura 2.29). Algunos tapetes de control de erosión son hechos usando fibras de madera biodegradables.<sup>33</sup>



*Figura 2.29 Geosintético usados como sistema de retención de partículas traídas por la escorrentía.*

*Fuente de la fotografía: Mecánica de Suelos y Geología – FIUBA*

**Refuerzo:** Los geosintéticos actúan como un elemento de refuerzo dentro de la masa de suelo o en combinación con el propio suelo para producir un compuesto que mejore las propiedades de resistencia y deformación. Por ejemplo, geotextiles y geomallas son usados para adicionar resistencia a tracción a la masa de suelo y posibilitar paredes de suelo reforzado verticales o casi verticales

Los refuerzos permiten la construcción de terraplenes al borde de taludes con mayores ángulos que los posibles con suelo no reforzado. Los geosintéticos (generalmente geomallas) han sido usados para cubrir cavidades que se pueden generar debajo de capas granulares sometidas a carga (carreteras y vías de ferrocarril) o debajo de sistemas de cubierta en rellenos sanitarios.<sup>34</sup>

<sup>33-34</sup> Folletos educativos sobre geosintéticos y sus aplicaciones. IGS Internacional Geosynthetic Society. [http://www.igsargentina.com.ar/pdf/Folletos\\_Educacionales\\_de\\_la\\_IGS.pdf](http://www.igsargentina.com.ar/pdf/Folletos_Educacionales_de_la_IGS.pdf)

La función de refuerzo de los geosintéticos consiste en el complemento y por ende en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo. Los geosintéticos son materiales con alta resistencia a la tensión y son un buen complemento de aquellos materiales con alta resistencia a la compresión pero con poca resistencia a la tensión, como ocurre en general con los suelos finos y granulares.

Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por el peso propio del suelo, como en el caso de taludes o terraplenes sobre suelos de fundación muy blandos, el refuerzo del suelo con geosintéticos permite la construcción de taludes o terraplenes con mayor inclinación. Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por cargas externas, caso de las vías, el refuerzo del suelo con geosintéticos permite la aplicación de mayores cargas y un aumento de la vida útil de la estructura de pavimento.

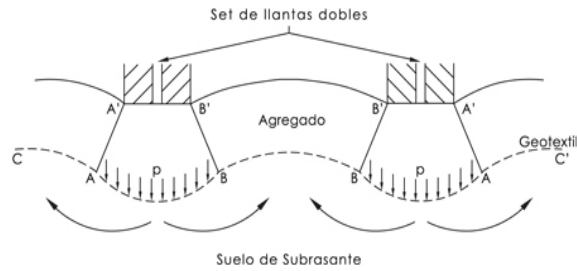
Para que un geosintético cumpla de manera óptima con la función de refuerzo se debe cumplir con la condición de que el CBR de la subrasante sea menor al 3%. Si el valor de CBR de la subrasante es mayor o igual a 3 se debe diseñar el geosintético para la función de separación, por lo tanto se debe chequear la metodología realizada para esta aplicación.

El refuerzo con geosintéticos permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el suelo y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión. Cuando se aplica una carga en la superficie de la estructura, una parte de los esfuerzos normales de la fibra inferior de esa capa (parte cóncava) son soportados por la fuerza de tensión de la membrana de geosintético, reduciendo así los esfuerzos aplicados en el suelo que se encuentra bajo el geosintético (parte convexa del geosintético (Ver Figura 2.30)

Este mecanismo tipo membrana se desarrolla cuando se aplican cargas localizadas y se presentan deformaciones considerables. En el caso particular de las vías, la acción de membrana es muy importante para controlar el ahuellamiento en las vías y para prevenir el colapso de un relleno en un hueco o cavidad que se presente en el suelo de fundación.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Manual de diseño con Geosintéticos Geosistemas PAVCO 9a Edición Departamento de Ingeniería. Capítulo 5: Estabilización de Subrasantes con Geosintéticos

*Figura 2.30 Efecto membrana*



*Fuente: Manual de diseño con geosintéticos PAVCO-Novena edición*

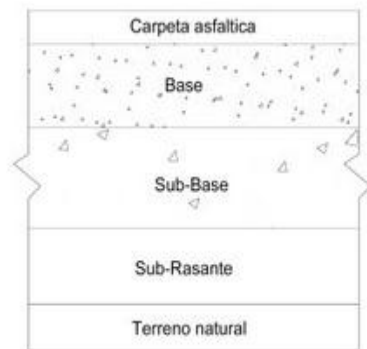
## 2.4. SUBRASANTE

De la calidad de ésta depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito.

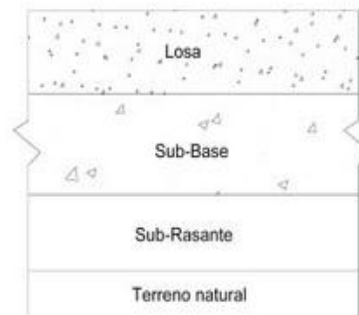
Los cambios de volumen en un suelo expansivo, pueden ocasionar graves daños a las estructuras que se apoyan sobre éste, por esta razón, al construir un pavimento hay que intentar al máximo controlar las variaciones volumétricas del mismo a causa de la humedad. Se puede definir como “La superficie del camino sobre la que se construirá la estructura del pavimento”<sup>36</sup> (Ver Figura 2.31).

*Ver Figura 2.31. Paquete estructural*

### *Pavimentos Flexibles*



### *Pavimentos Rígidos*



*Fuente: Artículo pavimentación de las pistas-Infraestructura Civil*

<sup>36</sup> Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 1: Diseño Geométrico

### 2.4.1. Características de suelos de baja resistencia

**Permeabilidad.-** Se puede entender por permeabilidad como la propiedad de un suelo que permite el paso del agua a través de sus vacíos, bajo la acción de una carga hidrostática. No todos los suelos tienen la misma permeabilidad, de ahí que se los haya dividido en suelos permeables e impermeables.

Los suelos de baja resistencia son suelos impermeables en caso de no ser fisurados, donde la cantidad de escurrimiento del agua es pequeña y lenta. La determinación del coeficiente de permeabilidad durante una prueba de consolidación es adecuada. (Ver Cuadro 2.4)

Tabla 2.4. Valores de "K" en cm/seg

	100	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
Drenaje	Bueno				Pobre				Prácticamente impermeable			
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición			
					Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición.							

Fuente: *Mecánica de suelo y cimentaciones –Crespo Villalaz Carlos*

**Compresibilidad y expansibilidad.-** La compresibilidad es la deformación que experimenta un suelo producto de la relación variable que experimentan las fases de que están compuesto. Esta deformación no siempre es proporcional al esfuerzo aplicado, cambiando con el tiempo y con el medio.

La expansibilidad es una característica negativa de los suelos, característica por la cual el suelo al entrar en contacto con el agua reacciona, empezando a aumentar considerablemente su volumen, así como por la disminución de la carga al extraer suelo por excavación. Los suelos limosos no saturados pueden presentar asentamientos bruscos al saturarse bajo carga.

Los suelos arcillosos en estado seco pueden presentar expansión al aumentar su contenido de agua.

**Resistencia al corte.-** Es indispensable estudiarla en laboratorio efectuando pruebas triaxiales con especímenes inalterados.

Debe considerarse que las condiciones no drenadas difieren significativamente de las drenadas para el caso de los suelos finos, donde corto plazo no se aprecia un cambio de volumen pero presentan un exceso de presión de poros que irá disipándose con el tiempo, hasta que a largo plazo se completa el cambio total de volumen y se disipa totalmente el exceso de presión de poros.<sup>37</sup>

#### **2.4.2. Propiedades de la subrasante**

Puesto que la subrasante es importante para la vida útil de una carretera se deben tener en consideración sus propiedades:

**Propiedades Físicas:** Son propiedades relacionadas con el tipo de material a utilizar y las características constructivas de los mismos.

*Granulometría (Propiedades iniciales de los suelos).*- Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

*Clasificación de los suelos.*- La determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, efectuadas mediante los ensayos de Límites de Atterberg y Granulometría, que tienen por objetivo último el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes atendiendo a la similitud de sus caracteres físicos y sus propiedades geo mecánicas.<sup>38</sup>

*Relación humedad-densidad.*- Se define por medio del ensayo de compactación como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad

<sup>37</sup> Mecánica de suelo y cimentaciones Crespo Villalaz Carlos 5ta edición .Editorial Limusa S.A. de C.V. 2004 Grupo Noriega Editores.

<sup>38</sup> Luis Bañón Blázquez [http://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/02010103.pdf](http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010103.pdf)  
[http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/granulometria.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/granulometria.pdf)

de huecos en una masa de suelo, obligando a sus partículas a un contacto más íntimo entre sí, es decir, a un aumento de la densidad de un material determinado.

Las variables determinantes de la compacidad que se pueda lograr en un determinado material, son la humedad que posee el suelo y el nivel de energía en la compactación.

39

### **Propiedades ingenieriles:**

*Módulo resiliente.*- Los materiales que constituyen los pavimentos se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tráfico. Con el fin de tener en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman una estructura de pavimento, así como el comportamiento no lineal y resiliente de los materiales, se han realizado en el mundo varios trabajos experimentales, tanto en modelos a escala natural como en muestras de material probadas en el laboratorio, obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales.

Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y suele denominarse plásticas a aquéllas que permanecen en el pavimento después de cesar la carga.

Bajo carga móvil la deformación permanente se va acumulando y para ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales. La muestra llega así a un estado tal en que toda la deformación es recuperable, en ese momento se tiene un comportamiento resiliente. De aquí se desprende el concepto de módulo resiliente, el cual está definido como el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable.

Así pues, el concepto de módulo resiliente está ligado invariablemente a un proceso de carga repetida.

Como se ha observado en los estudios llevados a cabo sobre módulo resiliente, este parámetro no es una propiedad constante del material, sino que depende de muchos

<sup>39</sup>Luis Bañón Blázquez [http://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/02010103.pdf](http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010103.pdf)  
[http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/relacion\\_densidad\\_humedad.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/relacion_densidad_humedad.pdf)

factores. Los principales son: número de aplicaciones del esfuerzo, tixotropía, magnitud del esfuerzo desviador, método de compactación y condiciones de compactación.

El módulo resiliente  $M_r$  es la respuesta al ensayo dinámico, definido como el cociente entre la tensión desviadora axial repetida  $\sigma_d$  y la deformación axial recuperable  $\epsilon_a$ .<sup>40</sup>

*Módulo de reacción de la subrasante (k).*- El módulo de reacción de subrasante  $k$  [F/L<sup>3</sup>], se define como:

$$k = \sigma / \delta$$

En donde :

$\sigma$ = esfuerzo normal

$\delta$ = deformación en la dirección de

El objetivo de este parámetro es el de reemplazar una masa de suelo por resortes elásticos equivalentes, con una constante  $k$  por unidad de área, lo que realmente es una conveniencia matemática que facilita los cálculos de esfuerzos y deformaciones en las interfaces estructura-suelo, puesto que las deformaciones se hacen directamente proporcionales a los esfuerzos aplicado.<sup>41</sup>

*Valor de soporte del suelo.*- La capacidad de soporte es una de las propiedades más importantes de los suelos.

Su comportamiento, al estar sometido a tensiones es bastante más complejo que el de otros materiales. Las deformaciones que experimenta no sólo dependen del “tipo de suelo” que se trate, sino también del estado en que se encuentre éste en cuanto a su contenido de humedad, grado de compactación, estructura interna, etc. por otra parte, el suelo subyacente a una fundación puede presentar heterogeneidades de importancia, acusando grandes variaciones de resistencia según la dirección de aplicación de las tensiones (anisotropía). Finalmente, las deformaciones que experimente un suelo deben necesariamente relacionarse con la estructura solicitante, ya que ciertos

<sup>40</sup> Capítulo 4 módulo resiliente upc <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3252/10/50777-10.pdf>

<sup>41</sup> II ENCUENTRO DE INGENIEROS DE SUELOS Y ESTRUCTURAS –Escuela Colombiana de Ingeniería- Bogotá, Septiembre 1993 módulo de reacción de subrasante en cimentaciones superficiales-ALVARO J. GONZALEZ  
<http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/MODULO-DE-REACCION-DE-SUBRASANTE-K.pdf>

órdenes de magnitud pueden ser tolerables para algunas construcciones y prohibitivos para otras.

Cuando un suelo es sometido a tensiones, sufre una determinada deformación. Si alcanza el valor límite de su resistencia, el suelo sufre una rotura por corte o falla por corte.

Si se aplican presiones sobre superficies de carga de diferentes formas y dimensiones, en un determinado suelo, se obtienen distintos gráficos de relación tensión – deformación. Aquí interviene un nuevo factor que es la forma y dimensión del área cargada, pues, la resistencia de un suelo varía con respecto a la forma, dimensiones, velocidad de aplicación de carga y de la deformación del suelo.<sup>42</sup>

### 2.4.3. Características del material usado en la subrasante

La calidad de los materiales va en función de sus características y de la intensidad de tránsito especificada en términos del número equivalentes a 8.2 tn, acumulados durante la vida útil del pavimento ( $\sum L$ ).

En ningún caso se usarán materiales altamente orgánicos para la constitución de la subrasante.<sup>43</sup> (Ver Tabla 2.5)

*Tabla 2.5. Características de una buena subrasante*

Característica	Valor
Tamaño máximo (mm)	76
Límite Líquido (% máximo)	40
Índice Plástico (% máximo)	12
Valor Soporte de California (CBR) (% mínimo)	20
Expansión máxima (%)	2
Grado de compactación (%)	100+-2

*Fuente: Mecánica de suelo y cimentaciones –Crespo Villalaz Carlos*

### 2.4.4. Ensayos de caracterización de subrasantes

El comportamiento de una subrasante generalmente depende de tres características básicas, las cuales se hallan interrelacionadas entre sí, siendo éstas las siguientes:

<sup>42</sup> Determinación ensayo capacidad de soporte del suelo. (cbr)profesor :SaraOojeda Herrera

<sup>43</sup> Características y Propiedades de los materiales para la construcción de carreteras. República Bolivariana de Venezuela Universidad “Gran Mariscal de Ayacucho”. Cátedra: Diseño de Pavimentos. Grüber Geraldine, Brito Johana <http://www.slideshare.net/geral24/subrasante>

**a) Análisis mecánico.-** 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 0.075mm de diámetro, y 2) análisis hidrométrico, para tamaños de partículas menores de 0.075 mm de diámetro.<sup>44</sup>

**Análisis Hidrométrico.-** Método para determinar el tamaño de las partículas más pequeñas de un suelo (normalmente menores que 0,075mm), basado en la velocidad de sedimentación en un líquido.<sup>45</sup>

El análisis hidrométrico se basa en el principio de la sedimentación de granos de suelo en agua.

Cuando un espécimen de suelo se dispersa en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos. Por simplicidad, se supone que todas las partículas de suelos son esferas y que la velocidad de las partículas se expresa por la ley de Stokes.

Por lo dicho anteriormente se presentan unas restricciones a esta ley que son necesarias tener en cuenta como objeto del estudio que se hace

Las partículas finas no son esferas

El suelo no es homogéneo en cuanto a su composición

Las partículas finas forman grumos debido a la interacción eléctrica que ocurre entre ellas.

Para este tipo de ensayos se tienen en cuenta las siguientes observaciones:

Se debe de trabajar con la cantidad de material fino que pasa tamiz 200.

Se toma una cantidad de 30 a 50 g, del material que pasa tamiz 200.

Se utilizará un defloculante (Silicato de Sodio) el cual disgregará todos los grumos presentes en la muestra.

<sup>44</sup> Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 1: Diseño Geométrico

<sup>45</sup> Capítulo 1: Depósitos de suelo y análisis granulométrico. Braja Dass

### **b) Límites de Atterberg**

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 absorbida 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.

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.<sup>46</sup>

**Límite Líquido.-** Humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2mm entre sí, fluyan y entren en contacto en una longitud de 10mm, aplicando 25 golpes.<sup>47</sup>

**Límite Plástico.-** Humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3mm diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a 1 cm de largo y no puedan ser reamados ni reconstituidos.<sup>48</sup>

**c) Peso específico.-** La densidad absoluta de un cuerpo es la masa de dicho cuerpo

<sup>46</sup> Capítulo 2: Relaciones volumétricas y gravimétricas, plasticidad y clasificación de los suelos. Braja Dass

<sup>47</sup> Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 1: Diseño Geométrico  
<http://www.pasionporvolar.com/pavimentacion-de-las-pistas-aereas/normal>

<sup>48</sup> Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 1: Diseño Geométrico

contenida en la unidad de volumen, sin incluir sus vacíos. La densidad aparente es la masa de un cuerpo contenida en la unidad de volumen, incluyendo sus vacíos.

La densidad relativa de un sólido es la relación de su densidad a la densidad absoluta del agua destilada a una temperatura de 4° (Ver Fig. 33). Así pues, en un suelo. La densidad relativa del mismo se define como la relación de la densidad absoluta o aparente promedio de las partículas que constituyen el suelo, a la densidad absoluta del agua destilada, a 4°C, que tiene valor de 1g/cm<sup>3</sup>.

#### d) Relación de Valor Soporte California CBR:

La subrasante debe tener la capacidad de soportar las cargas transmitidas por la estructura del pavimento. La capacidad de carga es función del tipo de suelo, del grado de compactación y de su contenido de humedad.

El propósito del pavimento es proporcionar una superficie confortable al tránsito de vehículos. Consecuentemente, es necesario que la subrasante sea capaz de soportar un número grande de repeticiones de carga sin presentar deformaciones. (Ver Tabla 2.6)

*Tabla 2.6. Clasificación y uso del suelo según el calor de CBR*

<b>CBR</b>	<b>Clasificación cualitativa del suelo</b>	<b>Uso</b>
2--5	Muy mala	Sub-rasante
5--8	Mala	Sub-rasante
8--20	Regular- Buena	Sub-rasante
20--30	Excelente	Sub-rasante
30--60	Buena	Sub-base
60--80	Buena	Base
80--100	Excelente	Base

*Fuente: Mecánica de suelo y cimentaciones*

e) **Contenido de Humedad.**- El diferente grado de humedad de la subrasante afecta en forma determinante su capacidad de carga, pudiendo además llegar a provocar inclusive contracciones y/o expansiones indeseables, especialmente en el caso de la presencia de suelos finos.

El contenido de humedad es afectado principalmente por las condiciones de drenaje, elevación del nivel freático, infiltración etc. Una subrasante con un elevado contenido de humedad sufrirá deformaciones prematuras ante el paso de las cargas de sollicitación de los vehículos.

#### **f) Contracción y/o expansión**

Algunos suelos se contraen o se expanden, dependiendo de su grado de plasticidad y su contenido de humedad. Cualquier pavimento construido sobre estos suelos, si no se adoptan las medidas pertinentes, tenderán a deformarse y/o deteriorarse prematuramente.

Para evitar que las deflexiones admisibles en la subrasante excedan los límites establecidos, debe cumplirse que la presión transmitida por la carga se mantenga por debajo del valor de la carga máxima transmitida al suelo, para lo cual deberá tomarse en cuenta el tránsito de diseño a través del número de repeticiones de carga, las deflexiones máximas esperadas y el CBR del material con el que se ejecutará el mejoramiento.<sup>49</sup>

**g) Compactación.-** Es un método artificial, aumentar la resistencia del suelo y de esa manera eliminar los espacios vacíos.

Los objetivos principales de la compactación son:

Reducir el volumen de espacios vacíos.

Aumentar la resistencia de los suelos al corte.

Disminuye la permeabilidad del suelo

Disminuir la susceptibilidad de cambio volumétrico del suelo con esto se evitan los asentamientos, se obtiene una superficie consistente regular.

La efectividad del proceso de compactación depende de:

<sup>49</sup>Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 1: Diseño Geométrico

La naturaleza del suelo

Contenido de humedad se deberá lograr la óptima en campo

Tipo de equipo, que da la energía de compactación

Densidad máxima hallada en el laboratorio determinada o hallada previamente.

La relación entre densidad en suelo seco y el contenido de humedad para prácticamente todos los suelos adopta la forma de una línea parabólica donde la densidad en seco que alcanza es baja para un esfuerzo de compactación dado, la densidad en seco aumenta al aumentar el contenido de humedad hasta un valor máximo cuando alcanza el contenido de humedad óptima.

Un incremento adicional del contenido de humedad conduce a una disminución de la densidad en seco este fenómeno se debe al efecto de la humedad en las partículas del suelo debido a que las partículas están lubricadas evitando la densificación entre ellas, razón por la cual al aumentar el agua se desarrolla una película de agua mayor haciendo llegar al suelo a un estado plástico el cuál es fácil moverse sin densificarse pero cuando el suelo alcanza el CHO se obtiene el máximo grado de saturación óptima, este grado de saturación no puede incrementarse debido a la presencia de aire atrapada entre los espacios vacíos alrededor de las partículas.

#### **2.4.5. Suelos finos**

Los suelos finos están constituidos de partículas compuestas de fragmentos diminutos de roca, minerales y minerales de arcilla, con textura granular y en hojuelas. De acuerdo al sistema de clasificación unificado estas partículas tienen un tamaño inferior a 0.075 mm, que corresponden a la categoría del limo y la arcilla, por lo que toda fracción de suelo que pasa el tamiz Nro. 200 es considerado como suelo fino.

**Limos.-** Suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad que en estado seco tiene apenas la cohesión necesaria para formar terrones fácilmente friables. El tamaño de sus partículas está comprendido entre 0.005mm y 0.08mm.<sup>50</sup> (Ver Figura 2.32)

<sup>50</sup>Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 1: Diseño Geométrico

*Figura 2.32. Excavación de suelo limoso*



*Fuente: Manual de Mexichem-Construcciones civiles*

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas.

Son suaves al tacto, tienen una textura jabonosa y su color varía desde gris claro a muy oscuro.

Además los limos pueden en los suelos inorgánicos el producto del intemperismo de las rocas permanece en el sitio donde se formó, da origen a un suelo residual; en caso contrario, forma un suelo transportado, cualquiera que haya sido el agente transportador (por gravedad: talud; por agua: aluviales o lacustres; por viento: eólicos; por glaciares: Depósitos glaciares).

La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar.

**Arcilla.-** Suelo de granos finos (compuesto por partículas menores a 5 micrones), que posee alta plasticidad dentro de ciertos límites de contenido de humedad y que, secado al aire, adquiere una resistencia importante.<sup>51</sup> (Ver Figura 2.33).

Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en no pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos

<sup>51</sup>Manual de carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras Volumen 1: Diseño Geométrico

minerales generalmente es cristalina y complicada y sus átomos están dispuestos de forma laminar.

*Figura 2.33. Estrato de arcilla*



*Fuente: Manual de Mexichem-Construcciones civiles*

**CAPÍTULO III**  
**APLICACIÓN PRÁCTICA**

## CAPÍTULO III

### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 3.1. Caracterización del suelo subrasante

##### 3.1.1. Criterios de Selección del suelo subrasante

El proyecto debe estar avalado por normas estandarizadas y reguladas, es por ésta razón que se utilizó la Norma Boliviana de la ABC.

Según la ABC la subrasante se define como el suelo de fundación para el paquete estructural del pavimento, al ser la subrasante la capa que soporta todos los esfuerzos generados, es preciso que se den valores óptimos de referencia para poder tener una idea generalizada de cuando una subrasante es considerada apta para dar un buen funcionamiento y durabilidad a lo largo de la vida útil proyectada del pavimento, además es de consideración que el espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

Una subrasante es considerada de buenas condiciones según la Norma Boliviana cuando tienen los siguientes valores que se expresan en el Cuadro N°3.1:

*Cuadro 3.1. Características de una buena subrasante*

Característica	Unidad	Valor
Límite Líquido (máximo)	%	40
Índice de Plasticidad (máximo)	%	12
Valor Soporte de California (CBR) (mínimo)	%	7

*Fuente: Manual de Ensayos de suelos y materiales Vol. 4 (ABC)*

También es necesario mencionar valores que relacionan el grado de expansión, Límite Líquido y el Índice de plasticidad (Ver Cuadro 3.2.)

*Cuadro 3.2. Valores de Límite Líquido e Índice Plástico según el grado de expansión*

<b>Grado de expansión</b>	<b>LL%</b>	<b>IP%</b>
Elevado	>60	>35
Marginal	50 – 60	25 - 35
Bajo	<50	< 25

*Fuente: Manual de Ensayos de suelos y materiales Vol. 4 (ABC)*

La principal fuente que normaliza los ensayos y parámetros de esta investigación es la Norma Boliviana (ABC), pero también se puede tomar como referencia valores de otros autores, que dan una idea más generalizada de los rangos considerados como aceptables para una buena subrasante (Ver Cuadro 3.3)

*Cuadro 3.3. Características de una buena subrasante*

<b>Característica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Tamaño máximo	mm	76
Límite Líquido (máximo)	%	40
Límite Plástico (máximo)	%	12
Valor Soporte de California (CBR) <sup>1</sup> (mínimo)	%	20
Expansión máxima	%	2
Grado de compactación	%	100+-2

<sup>1</sup>En especímenes compactados dinámicamente al porcentaje de compactación indicado en esta tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m de profundidad.

*Fuente: Mecánica de suelo y cimentaciones (Crespo Villalaz)*

Uno de los valores de mayor importancia es el de %CBR, este valor es el parámetro que indica y ayuda a clasificar de manera cualitativa al suelo, según los rangos de su valor, puede indicar que el suelo es muy malo como para una subrasante desde un 2% hasta un 100% para un suelo muy bueno apto para usarlo como una base, en el Cuadro N° 3.4 se muestra la clasificación cualitativa según el %CBR:

Cuadro 3.4. Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2--5	Muy mala	Sub-rasante
5--8	Mala	Sub-rasante
8--20	Regular- Buena	Sub-rasante
20--30	Excelente	Sub-rasante
30--60	Buena	Sub-base
60--80	Buena	Base
80--100	Excelente	Base

Fuente: *Mecánica de suelo y cimentaciones (Crespo Villalaz)*

Existen varios autores que establecen rangos de los valores de %CBR, es bueno tener como referencia distintos valores, el Cuadro 3.5. muestra el uso del suelo según el %CBR:

Cuadro 3.5. Clasificación y uso del suelo según el valor de CBR

CBR	Clasificación	Uso	SUSCS	AASTHO
0 – 3	Muy Pobre	Sub-rasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 – 7	Pobre a Regular	Sub-rasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 – 20	Regular	Sub-base	OL,CL,ML,SC SM,SP	A2,A4,A6,A7
20 – 50	Bueno	Base, Sub-base	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3
> 50	Excelente	Base	GW,GM	A2-6

Fuente: *Principios de diseño de pavimentos*”, Jhon Wiley & Sons, 1959

Según la clasificación cualitativa se puede sacar las siguientes determinaciones:

*Muy malo.*- Un terreno de fundación muy malo debe desecharse o en su caso debe realizarse un mejoramiento de las subrasante.

*Malo.*- Se halla formado por limos, arcillas se debe colocar sub-base, base y capa de rodadura.

*Regular a bueno.*- Están formado por suelos bien graduados posiblemente no requerirá sub-base.

*Excelente.*- Tiene un valor soporte bien elevado no requiere de sub-base o en su caso solo capa de rodadura.

Para iniciar la investigación se necesita que el suelo carezca de buenas propiedades en especial la de un buen % de CBR, entendiéndose que si presenta un bajo %CBR tendrá una baja capacidad portante lo cual constituye un suelo de baja resistencia.

La Norma Boliviana establece parámetros que caracterizan a un suelo fino y se basa en la norma ASTM D-3282; método AASHTO M145, por esta razón es que se consideran suelos finos a aquellos suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limos y materiales de tipo arcillosos.

Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.

Para poner a prueba la bondad del control y la validez de los resultados se requieren un suelo fino de bajas características de resistencias. Se debe considerar para el estudio dos tipos de suelos de diferentes lugares, propiedades y características.

Específicamente lo que se necesita para el desarrollo del proyecto es que la clasificación de los suelos según el método AASTHO tengan las características de un suelo fino correspondiente a una clasificación A-6, A-7.

Es importante que tengan un alto porcentaje de liquidez se debe tener en consideración que los suelos deben corresponder a un  $LL < 50$  (baja plasticidad) y otro con un  $LL > 50$  (alta plasticidad).

Los parámetros de límite plástico que se deberían obtener son 25 – 50%

Debemos tener en cuenta los factores que intervienen en el cálculo del Índice de Plasticidad son el Límite Líquido y Límite Plástico, cuando el Índice de Plasticidad es elevado, esto indica que tiene mayor tendencia a un cambio de volumen.

Del análisis hidrométrico se obtiene el porcentaje de limos y arcillas.

La relación entre la densidad seca y la humedad para una energía de compactación y definir la densidad seca máxima y su humedad correspondiente, denominada óptima, para suelos finos el contenido humedad óptima es elevado siendo mayor al 14% y la densidad máxima oscilará entre  $1.6 - 1.8 \text{ gr/cm}^3$

Para que un geosintético cumpla de manera óptima con la función de refuerzo se debe cumplir con la condición de que el CBR de la subrasante sea menor al 3%. Con este valor de CBR se considera una subrasante muy mala o pobre.

*Compresión Simple:* Con este ensayo se obtiene la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ), e indirectamente la resistencia al corte ( $q_c$ ).

Con el valor de la resistencia máxima a compresión simple, se pueden obtener los valores de la arcilla según la consistencia del suelo los resultados de la subrasante tanto al inicio como al final del ensayo que se esperan son:

*Carga última ( $\text{kg/cm}^2$ )*

*Muy blanda*  $< 0,25$                       Se espera que este sea el valor inicial para la subrasante

Las características requeridas de los suelos para este proyecto se especifican en el Cuadro 3.5.

*Cuadro 3.6. Valores requeridos para el suelo natural*

<b>RANGOS DE VALORES DE SUELO NATURAL</b>			
<b>Ensayo</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rango</b>
<b>Límites de Atterberg</b>	Límite líquido	%	>50
		%	<50
	Límite plástico	%	25-50
<b>Compactación</b>	Contenido de humedad óptima	%	>14
	Densidad máxima	$\text{gr/cm}^3$	1.6 -1.8
<b>CBR</b>	Valor soporte	%	$\leq 3$
<b>Compresión simple</b>	Carga ultima	$\text{kg/m}^2$	<0.25

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.1.2. Marco geográfico del suelo subrasante

Se estableció como muestra de estudio a los suelos finos (limos, arcillas), y como método para el muestreo el tipo No Probabilístico discrecional, donde el proyectista toma diversos aspectos para poder elegir el lugar de donde se extraerá la muestra.

Se decidió el empleo de un suelo localizado en la Avenida Panamericana y un suelo procedente del Barrio Los Chapacos.

Aunque no existen investigaciones con estos suelos, ni se conoce el comportamiento de los mismos al estar en contacto con geosintéticos, se decidió trabajar con este suelo por las características que estos presentan.

Para elegir el lugar de extracción de la muestra se consideraron características que se puedan observar a simple vista, como el color; textura; también se hicieron pruebas de campo rápidas, por ejemplo humedecer la mano y agarrar el suelo, si el mismo se manifiesta pegajoso significa que tiene cierto grado de plasticidad.

La Norma Boliviana (ABC) según la ASTM D2488 establece características visuales para identificar suelos finos como la arcilla y limos (Ver Cuadro 3.4):

*Cuadro 3.7. Características para reconocer visual o manualmente un suelo fino*

<b>Limos (entre 0,002 y 0,006mm)</b>	<b>Arcillas &lt;0,002 mm</b>
No tienen propiedades coloidales	Tienen propiedades coloidales
Para tamaños mayores a 0,002mm se hace cada vez mayor proporción de minerales no arcillosos.	Consisten en su mayor parte de minerales arcillosos
Tacto áspero.	Tacto suave.
Se secan con rapidez y no se pegan a los dedos.	Se secan lentamente y se pegan a los dedos
Los terrones secos tienen cohesión apreciable, pero se reducen a polvo con los dedos.	los terrones secos se pueden partir, pero no se pueden reducir a polvo con los dedos.

*Fuente: Manual de la ABC*

- ✓ La ubicación, puesto que éstos se encuentran dentro de la ciudad de Tarija, se facilita la extracción de la muestra y el traslado del material al laboratorio para su estudio.
- ✓ Disponibilidad del material, es de conocimiento de que en nuestra ciudad ciertos barrios son conocidos por tener suelos finos con un alto contenido de arcilla, pero el sacar la muestra de un barrio se debe considerar que no se vaya a realizar alguna construcción que perjudique una posterior extracción del material en el futuro.
- ✓ La accesibilidad al lugar de extracción, puesto que el trabajo de investigación no cuenta con mucho tiempo para su desarrollo, buscar suelos que estén fuera de nuestra ciudad podría ocasionar un retraso en la presentación y finalización de la investigación.

### 3.1.2.1. Suelo fino “Los Chapacos” (LL>50)

Este suelo está ubicado en el Barrio “Los Chapacos” de la ciudad de Tarija, ésta es una zona arcillosa. (Ver Figura 3.1 3.2 y 3.3)

Este tipo de suelo presenta un color amarillo, cuando entra en contacto con el agua muestra cohesión lo cual indica que es un suelo plástico.

Los mapas que se presentan sirven como dato de ubicación, son mapas actuales que nos indican los puntos de donde se extrajo la muestra.

La ubicación exacta de donde se extrajo la muestra tomando en cuenta las coordenadas se la expresa en la Tabla 3.1.

*Tabla 3.1. Coordenadas del Punto de extracción de “Los Chapacos”*

<b>Latitud</b>	21°30'2.95"S
<b>Longitud</b>	64°44'12.20"O

*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.1. Ubicación referente a un punto conocido*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.2. Ubicación del punto de extracción*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.3. Talud de extracción*



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.1.2.2. Suelo fino “Avenida Panamericana” (LL<50)**

El suelo que corresponde a un LL<50 está ubicado en la Avenida Panamericana a 4km de la ciudad de Tarija sobre la carretera a Tomatitas.

Se decidió tomar muestra para hacer los ensayos pertinentes porque al lado de este lugar existe la cerámica “Incertar”, la cual extrae su materia prima de este mismo lugar, teniendo conocimiento de que las cerámicas requieren suelos arcillosos para realizar su trabajo.

Se presentan mapas actuales de la ubicación general en la ciudad. (Ver Figura 3.4, 3.5 y 3.6)

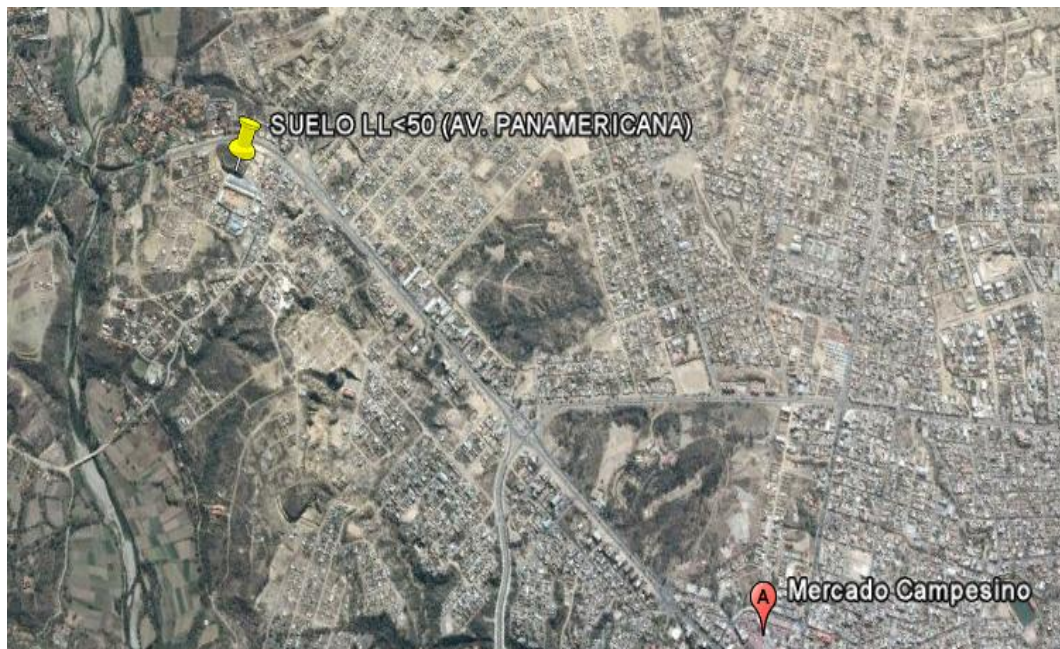
La ubicación exacta de donde se extrajo la muestra se la expresa (Ver Tabla 3.2)

*Tabla 3.2. Coordenadas del Punto de extracción de Av. Panamericana*

<b>Latitud</b>	21°30'3.89"S
<b>Longitud</b>	64°45'17.92"O

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 3.4. Ubicación referente a un punto conocido



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5. Ubicación del punto de extracción



Fuente: Elaboración propia

*Figura 3.6. Talud de extracción*



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.1.3. Preparación y caracterización del suelo empleado**

La caracterización de materiales se refiere al establecimiento de las características de un material determinado a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, etc.

En este caso para poder caracterizar los suelos se recurren a ensayos mecánicos de laboratorio según la Norma Boliviana son:

Análisis Granulométrico por medio del hidrómetro (ASTM D422)

Límites de Consistencia: Límite Líquido ASTM D4318 AASHTO T89

Límite Plástico ASTM D4318 AASHTO T90

Compactación (Proctor modificado T-180)

CBR (ASTM D1883 AASTHO T193)

Ensayo de Compresión Simple (ASTM D2126 AASTHO T208)

Una vez conocidas las características del material puede establecerse la naturaleza del mismo, así como sus posibles aplicaciones.

El estado natural de extracción de este tipo de suelo es en terrones, por lo tanto es necesario triturar el material para que se pueda usar en los ensayos indicados anteriormente. (Ver Figura 3.7)

*Figura 3.7. Preparación de material*



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.1.3.1. Análisis Hidrométrico**

Como este suelo presenta partículas finas menores a 0.0075mm el método granulométrico utilizado es el hidrométrico, puesto que está conformado principalmente de partículas limosas y arcillosas, lo que se busca es determinar el porcentaje en presente de estas partículas en el suelo.

El análisis hidrométrico se basa en el principio de la sedimentación de granos de suelo en agua.

Cuando un espécimen de suelo se dispersa en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos. Por simplicidad, se supone que todas las partículas de suelos son esferas.

La muestra para este ensayo debe estar triturada y las partículas deben pasar por el tamiz # 40, se debe pesar 80gr de suelo.

Se realizó el ensayo de acuerdo a la Norma Boliviana de Ensayo de Suelos y Materiales (ASTM D422). (Ver Figura 3.8 - 3.9 - 3.10 y 3.11.)

Los materiales usados según la norma son (Figura 3.8.):

Tamices, de 2,0 mm (No.10) y de 75  $\mu\text{m}$  (No.200).

Hidrómetro, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de peso específico que van de 0.995 a 1.038 y estará calibrado para leer 1.00 en agua destilada a 20 °C. Este Hidrómetro se identifica como 151 H.

Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5°C (0.9°F).

Cronometro o reloj.

Agente Dispersante es una solución de hexametafosfato de sodio; se usara en agua destilada. (Figura 3.9)

*Figura 3.8. Material necesario para el análisis hidrométrico*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.9. Suelo con defloculante*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.10. Probetas con el suelo para sedimentar*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.11. Lectura del hidrómetro y temperatura y temperatura*



*Fuente: Elaboración propia*

### a. Suelo fino “Los Chapacos”

Se presentará el cálculo correspondiente al ensayo promedio para esto ver Tabla 3.3. y Gráfica 3.1.

*Tabla 3.3. Datos, cálculos y Resultados de Hidrómetro de suelo “Los Chapacos”*

Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °c.	Lectura Real R'.	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
09:30	0	0	0	0	0	0.0000	0	0.000	0.000	0.000	0.00
09:30	0.25	23	59	60	6.5	0.0135	26.000	0.700	60.700	0.0689	77.09
09:30	0.5	23	58	59	6.8	0.0135	13.600	0.700	59.700	0.0499	75.82
09:31	1	23	57	58	6.9	0.0135	6.900	0.700	58.700	0.0355	74.55
09:32	2	23	56	57	7	0.0135	3.500	0.700	57.700	0.0253	73.28
09:34	4	23	55	56	7.3	0.0135	1.825	0.700	56.700	0.0183	72.01
09:36	6	23	53	54	7.6	0.0135	1.267	0.700	54.700	0.0152	69.47
09:38	8	23	50	51	8.1	0.0135	1.013	0.700	51.700	0.0136	65.66
09:40	10	23	47	48	8.4	0.0135	0.840	0.700	48.700	0.0124	61.85
09:42	12	23	44	45	8.9	0.0135	0.742	0.700	45.700	0.0116	58.04
09:44	14	23	42	43	9.2	0.0135	0.657	0.700	43.700	0.0110	55.50
10:59	29	23	40	41	9.6	0.0135	0.331	0.700	41.700	0.0078	52.96
11:29	59	23	38	39	10.1	0.0135	0.171	0.700	39.700	0.0056	50.42
10:05	1425	25	36	37	10.5	0.0132	0.007	1.300	38.300	0.0011	48.64
10:10	2870	26	34	35	10.9	0.0130	0.004	1.500	36.500	0.0008	46.36
10:02	4302	26	32	33	11.4	0.0130	0.003	1.650	34.650	0.0007	44.01
10:05	5745	25	29	30	11.7	0.0132	0.002	1.300	31.300	0.0006	39.75
10:12	7192	25	27	28	12.2	0.0132	0.002	1.300	29.300	0.0005	37.21
10:42	8662	26	24	25	12.5	0.0130	0.001	1.650	26.650	0.0005	33.85
16:35	9015	26	21	22	13	0.0130	0.001	1.650	23.650	0.0005	30.04
11:23	10143	25	17	18	13.3	0.0132	0.001	2.650	20.650	0.0005	26.23
16:42	10464	26	14	15	13.8	0.0130	0.001	3.650	18.650	0.0005	23.69
10:48	10950	23	12	13	14.2	0.0135	0.001	4.650	17.650	0.0005	22.42
15:24	11226	26	9	10	14.8	0.0130	0.001	5.650	15.650	0.0005	19.88
10:23	12365	25	5	6	15.5	0.0132	0.001	6.65	12.65	0.0005	16.07
16:04	12706	26	2	3	15.8	0.0129	0.001	7.65	10.65	0.0005	13.53
10:25	13207	25	0	1	16.1	0.0132	0.001	8.65	9.65	0.0005	12.256



% Pasa 200	100.00
% Limo Parcial	<b>64.87</b>
% Arcilla Parcial	<b>35.13</b>

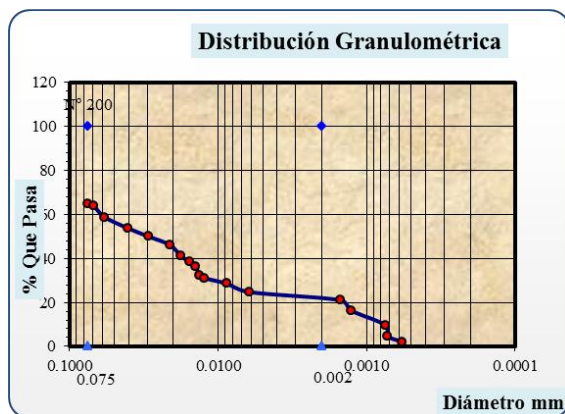
Gráfica 3.1. Curva Granulométrica de suelo “Los Chapacos”

### b. Suelo fino “Avenida Panamericana”

El ensayo promedio del Hidrómetro se presenta en la Tabla 3.4. y Gráfica 3.2.

Tabla 3.4. Datos, cálculos y Resultados de Hidrómetro de suelo “Av. Panamericana

Hora de Lectura	Tiempo Transc. min.	Temp. °c.	Lectura Real R'	Lectura Correg R.	Prof. Efec. L	Constante K Tabla	L/t	Ct	Lectura Correg Rc.	Diam. Partícula mm	% Mas Fino
10:25	0	26	49	50	8.1	0.0131	0	1.650	51.650	0.075	65.08
10:25	0.3	26	48	49	8.3	0.0131	27.667	1.650	50.650	0.0687	63.82
10:26	0.45	26	44	45	8.9	0.0131	19.778	1.650	46.650	0.0581	58.78
10:27	1	26	40	41	9.6	0.0131	9.600	1.650	42.650	0.0405	53.74
10:29	2	26	37	38	10.1	0.0131	5.050	1.650	39.650	0.0293	49.96
10:31	4	26	34	35	10.5	0.0131	2.625	1.650	36.650	0.0212	46.18
10:33	6	26	30	31	11.2	0.0131	1.867	1.650	32.650	0.0178	41.14
10:35	8	26	38	29	11.5	0.0131	1.438	1.650	30.650	0.0157	38.62
10:37	10	26	26	27	11.9	0.0131	1.190	1.650	28.650	0.0142	36.10
10:39	12	26	23	24	12.4	0.0131	1.033	1.650	25.650	0.0133	32.32
10:54	14	26	22	23	12.5	0.0131	0.893	1.650	24.650	0.0123	31.06
11:54	29	26	20	21	12.9	0.0131	0.445	1.650	22.650	0.0087	28.54
16:00	59	26	17	18	13.3	0.0131	0.225	1.650	19.650	0.0062	24.76
09:00	1079	23	15	16	13.7	0.0134	0.013	0.700	16.700	0.0015	21.04
16:28	1515	24	11	12	14.3	0.0132	0.009	1.000	13.000	0.0013	16.38
08:30	4875	23	6	7	15.2	0.0134	0.003	0.700	7.700	0.0007	9.70
16:02	5374.2	23	2	3	15.8	0.0134	0.003	0.700	3.700	0.0007	4.66
08:30	8734.2	23	0	1	16.1	0.0134	0.002	0.700	1.700	0.0006	2.14



% Pasa 200	100.00
% Limo Parcial	<b>85.74</b>
% Arcilla Parcial	<b>14.26</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

*Gráfica 3.2. Curva Granulométrica de suelo "Av. Panamericana"*

### c. Resumen de los Resultados

Para poder diferenciar los porcentajes de limo y arcilla obtenido con los diferentes tipos de suelo se puede recurrir a la Tabla 3.5.

*Tabla 3.5. Porcentaje de Limo y Arcilla para suelos de "Los Chapacos" y "Av. Panamericana"*

	Los Chapacos		Av. Panamericana	
	%Limo	% Arcilla	%Limo	% Arcilla
Ensayo 1	65.48	34.52	86.33	13.67
Ensayo 2	64.76	35.24	85.74	14.26
Ensayo 2	64.38	35.62	85.15	14.85
Ensayo Prom.	<b>64.87</b>	<b>35.13</b>	<b>85.74</b>	<b>14.26</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 3.1.3.2. Peso específico

Aunque existen tablas para poder determinar el peso específico, se vio conveniente determinar este valor por medio de ensayos de laboratorio para tener datos más reales y por lo tanto resultados más confiables. El peso específico relativo del suelo se toma como el valor promedio para los granos del suelo.

Este valor es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo y también es un dato fundamental para el análisis de hidrómetro.

El peso específico es la relación entre la masa de un volumen dado de material y la masa de igual volumen de agua a una temperatura de 4°C. Es un parámetro dependiente de las proporciones relativas de los diversos minerales y fragmentos líticos que se encuentran en el sedimento

Se realizó tres ensayos para poder promediar el valor obtenido, además de ser una fuente de control si los resultados son relativamente iguales.

Se realizó el ensayo de acuerdo a la Norma Boliviana de Ensayo de Suelos y Materiales (ASTM D854 AASHTO T100). (Ver Figura 3.12)

*Figura 3.12. Frasco volumétrico con suelo*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **a. Suelo fino “Los Chapacos”**

El ensayo promedio de la calibración del frasco usado se presenta en la Tabla 3.6. y Gráfica 3.3. y el cálculo del peso específico relativo en la Tabla 3.7.

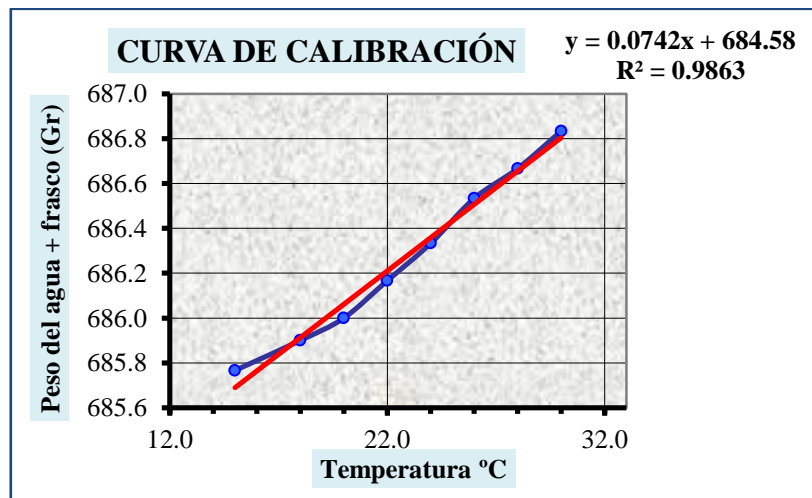
## Calibración del frasco

Tabla 3.6. Datos para la calibración del frasco

Número de Ensayo	Wfw ( Gr )	T ( ° C )
1	686.8	30.0
2	686.7	28.0
3	686.5	26.0
4	686.3	24.0
5	686.2	22.0
6	686.0	20.0
7	685.9	18.0
8	685.8	15.0

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.3. Curva de calibración frasco+agua “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

## Peso específico relativo

Tabla 3.7. *Peso específico de “Los Chapacos”*

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
Temperatura ensayada °C	30.00	28.00	26.00	24.00	22.00	20.00	18.00	15.00	
Peso del suelo seco W <sub>s</sub>	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	
Peso del frasco + agua W <sub>fw</sub>	686.80	686.27	686.12	685.98	685.83	685.69	685.55	685.68	
Peso del frasco + agua + suelo W <sub>fws</sub>	735.77	735.23	734.97	734.70	734.57	734.43	734.40	734.73	
Peso específico	2.589	2.591	2.586	2.572	2.575	2.578	2.572	2.580	
Factor de correc. K= 0,99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	
Peso específico corregido	<b>2.583</b>	<b>2.583</b>	<b>2.573</b>	<b>2.563</b>	<b>2.564</b>	<b>2.565</b>	<b>2.574</b>	<b>2.590</b>	<b>2.575</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### b. Suelo fino “Avenida Panamericana”

El ensayo promedio de la calibración del frasco usado se presenta en la Tabla 3.8. y Gráfica 3.4. y el cálculo del peso específico relativo en la Tabla 3.9.

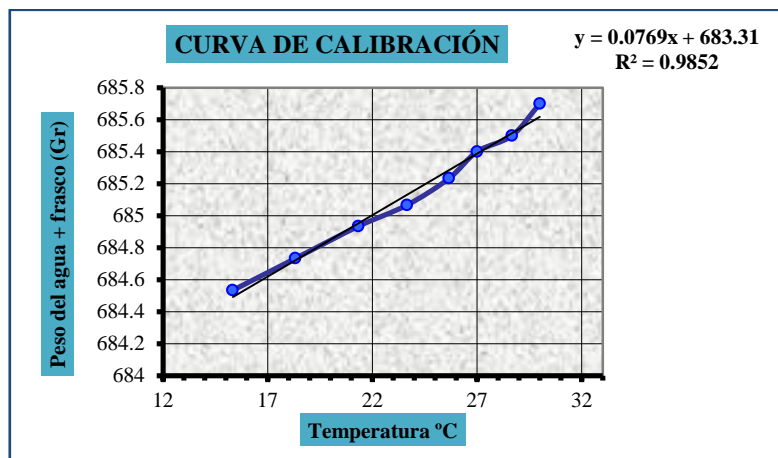
#### Calibración del frasco

Tabla 3.8. *Datos para la calibración del frasco*

Número de Ensayo	W <sub>fw</sub> ( Gr )	T ( ° C )
1	685.7	30
2	685.50	29
3	685.40	27
4	685.23	26
5	685.07	24
6	684.93	21
7	684.73	18
8	684.53	15

*Fuente: Elaboración Propia*

Gráfica 3.4. Curva de calibración frasco+agua “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### Peso específico relativo

Tabla 3.9. Peso específico de “Los Chapacos”

Numero de ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
Temperatura ensayada °C	30.00	29.00	27.00	26.00	24.00	21.00	18.00	15.00	
Peso del suelo seco W <sub>s</sub>	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	
Peso del frasco + agua W <sub>fw</sub>	685.35	685.22	685.14	685.07	684.92	684.67	684.38	684.23	
Peso del frasco + agua + suelo W <sub>fws</sub>	734.60	734.60	734.50	734.40	734.2	734	733.6	733.5	
Peso específico	2.600	2.613	2.611	2.609	2.605	2.607	2.598	2.603	
Factor de correccion K= 0,99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	0.99791	
Peso específico corregido	<b>2.606</b>	<b>2.619</b>	<b>2.616</b>	<b>2.614</b>	<b>2.610</b>	<b>2.604</b>	<b>2.601</b>	<b>2.607</b>	<b>2.610</b>

Fuente: Elaboración Propia

### c. Resumen de los Resultados

En la Tabla 3.10. se presenta un resumen donde muestra los resultados de los ensayos realizados para determinar el peso específico.

Tabla 3.10. *Peso Específico Relativo para suelos de “Los Chapacos” y “Av. Panamericana”*

	Peso Específico Relativo	
	Los Chapacos	Av. Panamericana
Ensayo 1	2.586	2.609
Ensayo 2	2.565	2.611
Ensayo 3	2.573	2.614
Ensayo Prom.	<b>2.575</b>	<b>2.611</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.1.3.3. Límites de Atterberg

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.

Los materiales utilizados según indica la norma son (Figura 3.13):

Espátula: Con una hoja flexible de aproximadamente 75mm de largo y 20mm de ancho.

Aparato de Casa Grande: Taza de bronce con una masa de  $200 \pm 20$ (g) montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm rebote entre 75% y 90%.

Acanalador: Combinación de acanalador y calibre.

Superficie de amasado. Placa de vidrio.

*Figura 3.13. Material necesario para Limite Líquido*



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.1.3.3.1. Limite Líquido**

Humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2mm entre sí, fluyan y entren en contacto en una longitud de 10mm, aplicando 25 golpes.

Se siguió el procedimiento correspondiente de este ensayo utilizando los materiales y equipos disponibles en el laboratorio con la finalidad de determinar el límite líquido de los suelos subrasantes, basado en la Norma Boliviana de Ensayo de Suelos y Materiales (ASTM D4318 AASHTO T89).

Para obtener datos y resultados lo más coherentes posibles se realizaron 3 ensayos para poder verificar la igualdad.

### **3.1.3.3.2. Limite Plástico**

Con este ensayo se determinó el porcentaje de humedad de los suelos que ha producido un cilindro de aproximadamente 3 mm de diámetro. Es decir, el porcentaje o contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido.

Se siguieron los pasos de la Norma Boliviana de Ensayos de Suelos y Materiales (ASTM D4318 AASHTO T90). (Ver Figura 3.14 – 3.15 -3.16)

Para obtener datos y resultados lo más coherentes posibles se realizaron 3 ensayos para poder verificar la igualdad.

*Figura 3.14. Muestra preparada para el Limite Plástico*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.15. Rollitos de 3mm para límite plástico*



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 3.16. Taras con muestras secas de límites

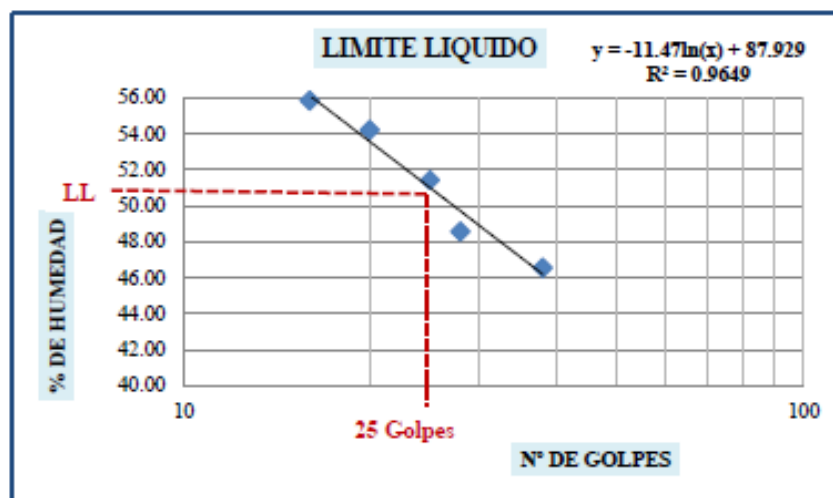


Fuente: Elaboración propia

**a. Suelo fino “Los Chapacos”**

El ensayo promedio para determinar el límite líquido se presenta en la Gráfica 3.5. y en la Tabla 3.11. se muestra los resultados de Límite Líquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad e Índice de grupo.

Gráfica 3.5. Gráfica para determinar el Límite Líquido de suelo “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.11. Resultados Promedios de Limite Líquido y Plástico de “Los Chapacos”

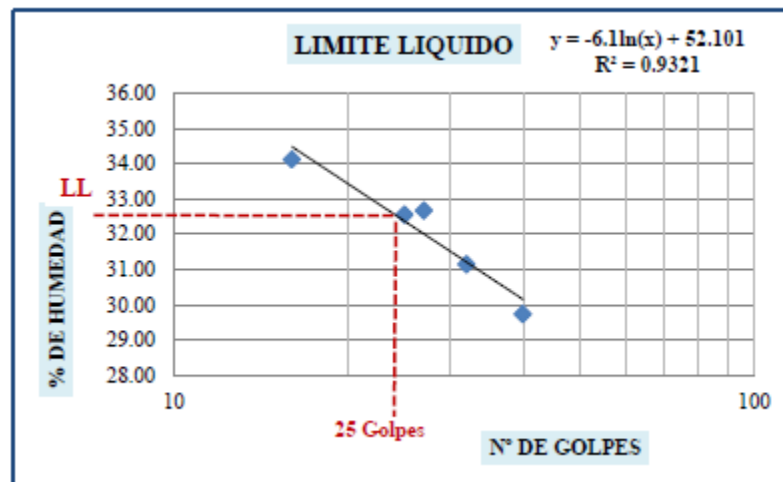
<b>Límite Líquido (LL)</b>
51.29
<b>Límite Plástico (LP)</b>
27.92
<b>Índice de plasticidad (IP)</b>
23.37
<b>Índice de Grupo (IG)</b>
14

Fuente: Elaboración Propia

### b. Suelo fino “Avenida Panamericana”

El ensayo promedio para determinar el límite líquido se presenta en la Gráfica 3.6. y en la Tabla 3.12. se muestra los resultados de Limite Liquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad e Índice de grupo.

Gráfica 3.6. Gráfica para determinar el Límite Líquido de suelo “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

*Tabla 3.12. Resultados Promedios de Limite Líquido y Plástico de “Av. Panamericana”*

<b>Límite Líquido (LL)</b>
32.47
<b>Límite Plástico (LP)</b>
15.25
<b>Índice de plasticidad (IP)</b>
17.22
<b>Índice de Grupo (IG)</b>
11

*Fuente: Elaboración Propia*

### c. Resumen de los Resultados

En la Tabla 3.13. se presenta un resumen donde muestra los resultados de los ensayos realizados para determinar el Límite Líquido y Límite Plástico.

*Tabla 3.13. Límite Líquido, Plástico e Índice Plástico para suelos de “Los Chapacos” y “Av. Panamericana”*

	Los Chapacos			Av. Panamericana		
	LL	LP	IP	LL	LP	IP
Ensayo 1	51.27	28.29	22.98	33.01	15.45	17.56
Ensayo 2	51.23	27.62	23.61	32.58	15.29	17.29
Ensayo 2	51.30	28.17	23.13	32.25	15.22	17.03
Ensayo Prom.	<b>51.27</b>	<b>28.03</b>	<b>23.24</b>	<b>32.61</b>	<b>15.32</b>	<b>17.29</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

El Límite Líquido nos indica la plasticidad del suelo, por ejemplo el límite líquido menor de 50%, indica que tiene una plasticidad baja o media y un límite líquido mayor al 50% indica una plasticidad alta.

El límite líquido del suelo precedente de la “Av. Panamericana” es de 32%, por eso se considera un suelo de baja plasticidad; por el contrario el suelo del Barrio “Los Chapacos” con un límite líquido de 51% presenta una alta plasticidad.

Un Índice de plasticidad bajo, como por ejemplo del 5%, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad, puesto que tiene mayor permeabilidad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, como por ejemplo del 20%, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua, la permeabilidad es menor.

Esto es lo que sucede con ambos tipos de suelos, el IP correspondiente a cada suelo es relativamente alto del suelo procedente de “Los Chapacos” es 17% y del suelo procedente de la “Av. Panamericana” es 28%, por lo tanto para estos suelos sufran grandes cambios por la humedad se debe agregar una gran cantidad de agua.

### **Índice de grupo**

El índice de grupo, es útil en la determinación de la calidad relativa del suelo para su utilización en estructuras de tierra, particularmente en terraplenes, subrasantes, subbases y bases. El diseño detallado de estructuras importantes normalmente requiere de datos adicionales relacionados con la resistencia o las características de funcionamiento en las condiciones de campo, que no pueden ser inferidas de la sola clasificación del suelo.

La asignación de un símbolo y de un índice de grupo pueden ser utilizados para ayudar en la evaluación de propiedades importantes del suelo en el diseño y clasificación de carreteras y aeropuertos.

Los índices de grupo de los suelos granulares están generalmente comprendidos entre 0 y 4, los correspondientes a los suelos limosos, entre 8 y 12 y los suelos arcillosos, entre 11 y 20, o más. Los valores del índice de grupo, deben ser utilizados solo para comparar suelos dentro el mismo grupo y no entre grupos diferentes.

El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material “bueno”

para la construcción de carreteras, y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material “muy malo” para la construcción de carreteras.

La ecuación empírica del índice de grupo diseñada para conseguir una evaluación aproximada de los suelos del mismo grupo, en los materiales granulares arcillosos, y los materiales limo arcillosos, se basa en las siguientes suposiciones:

Los materiales que se encuentran en los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 son adecuadas como subrasantes cuando están adecuadamente drenados y compactados bajo un espesor moderado de pavimento (base y carpeta de rodadura) de un tipo adecuado para el tráfico que soportará, o que puede adecuarse por adiciones de pequeñas cantidades de ligantes naturales o artificiales.

Los materiales granulares arcillosos de los grupos A-2-6 y A-2-7 y los materiales limosos y arcillosos de los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, pueden clasificarse para su utilización en subrasantes desde adecuadas como materiales de subbase equivalentes a las categorías A-2-4 y A-2-5, hasta regulares e inadecuadas hasta el punto de requerir una capa de subbase o una capa mayor de subbase que la requerida en el anterior caso (1), para proporcionar un adecuado soporte a las cargas de tráfico.

Se supone que un 35% o más de material que pasa el tamiz N° 200 (0.0075 mm.) es crítico si se omite la plasticidad, pero el mínimo crítico es solo el 15% cuando se ve afectado por IP mayor que 10.

Se supone que el LL igual o mayor que 40% es crítico.

Se supone que el IP igual o mayor que 10% es crítico

### **Suelo “Los Chapacos”**

%pasa N°200	100
LL	51
IP	23

$$a = \% \text{pasa N}^\circ 200 - 35\%$$

$$a = 75\% - 35\% = 40\%$$

$$b = \% \text{pasa N}^\circ 200 - 15\%$$

$$b = 55\% - 15\% = 40\%$$

$$c = LL - 40\%$$

$$c = 51\% - 40\% = 11\%$$

$$d = IP - 10\%$$

$$d = 23\% - 10\% = 13\%$$

$$IG = 0.2 a + 0.005 a c + 0.01 b d$$

$$IG = 0.2 (40) + 0.005 (40) (11) + 0.01 (40) (13)$$

$$IG = 15$$

El índice de grupo 15 nos indica que es un suelo muy malo y cae en la dentro de la clasificación de un suelo arcilloso.

#### Suelo “Av. Panamericana”

<b>%pasa N°200</b>	100
<b>LL</b>	32
<b>IP</b>	17

$$a = \% \text{pasa N}^\circ 200 - 35\%$$

$$a = 75\% - 35\% = 40\%$$

$$b = \% \text{pasa N}^\circ 200 - 15\%$$

$$b = 55\% - 15\% = 40\%$$

$$c = LL - 40\%$$

$$c = 0\% - 40\% = 0\%$$

$$d = IP - 10\%$$

$$d = 17\% - 10\% = 7\%$$

$$IG = 0.2 a + 0.005 a c + 0.01 b d$$

$$IG = 0.2 (40) + 0.005 (40) (0) + 0.01 (40) (7)$$

$$IG = 11$$

El índice de grupo igual a 11 no indica que es un suelo muy malo y puede clasificar como un suelo arcilloso.

### **Clasificación del suelo**

#### **Según la AASTHO**

La norma AASHTO describe y regula el procedimiento para la clasificación de suelos y agregados para la construcción de carreteras. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, subrasantes, subbases y bases de las carreteras. Sin embargo es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de subrasantes de carreteras puede ser muy pobre para otros propósitos. .

La clasificación AASHTO establece 7 grupos de suelos y agregados con base en la determinación en el laboratorio de la granulometría, el límite líquido y el límite plástico.

Las diferentes categorías de este sistema de clasificación se correlacionan en una forma general con el comportamiento ingenieril de los suelos. El comportamiento geotécnico de un suelo varía, en una forma general, inversamente con su índice de grupo. En consecuencia, esta norma proporciona un criterio útil

Para clasificar el suelo según el método AASTHO se usó la Tabla N° 3. 14 para material Limo – Arcilloso, es decir cuando más del 35% del total pasa N°200.

Tabla 3.14 Clasificación del método AASHTO (Material Limo – Arcilloso)

Clasificación general	Material limo-arcilloso (más del 35% del total pasa N°200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo de clasificación				A-7-5(a) A-7-6(b)
Análisis de tamices (% que pasa)				
N°10				
N°40				
N°200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa N°40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10máx.	10máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales que consta	Regular a pobre			
(a) Para A-7-5, IP < LL-30				
(b) Para A-7-5, IP > LL-30				

Fuente: Principios de la Ingeniería geotécnica, Braja M. Dass, 1998

Según la tabla se clasifican los ambos tipos de suelo:

Suelo “Los Chapacos”                      A – 7 – 6 (15)

Suelo “Av. Panamericana”              A – 6 (11)

### Según la SUCS

Este sistema está basado en el de aeropuertos, hasta el grado que puede decirse que es el mismo con ligeras modificaciones.

El sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla No 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas menores.

Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino, si más de la mitad de sus partículas, en peso, son finas.

Se describirán a continuación los diferentes grupos referentes a suelos finos.

**SUELOS FINOS.** También en este caso el sistema considera a los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, escogidas por un criterio similar al usado para los suelos gruesos y dando lugar a las siguientes divisiones:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo genérico **M**
- b) Arcillas inorgánicas, de símbolo genérico **C**
- c) Limos y arcillas orgánicas, de símbolo genérico **O**

Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido en dos grupos.

Si éste es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (baja compresibilidad).

Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea los de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (alta compresibilidad).

Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo Pt (turba).

**Grupos CL y CH.** El grupo CL comprende a la zona sobre la línea A de la carta de plasticidad, definida por  $LL < 50\%$  e  $IP > 7\%$

El grupo CH corresponde a la zona arriba de la línea A, definida por  $LL > 50\%$ .

**Grupos ML y MH.** El grupo ML comprende la zona abajo de la línea A, definida por  $LL < 50\%$  y la porción sobre la línea A con  $IP < 4$ . El grupo MH corresponde a la zona abajo de la línea A, definida por  $LL > 50\%$ .

En estos grupos quedan comprendidos los limos típicos inorgánicos y limos arcillosos, los tipos comunes de limos inorgánicos y limos arcillosos. Los tipos comunes de limos inorgánicos y polvo de roca, con  $LL < 30\%$ , se localizan en el grupo ML. Los depósitos eólicos, del tipo loess, con  $25\% < LL < 35\%$  usualmente, caen también en este grupo.

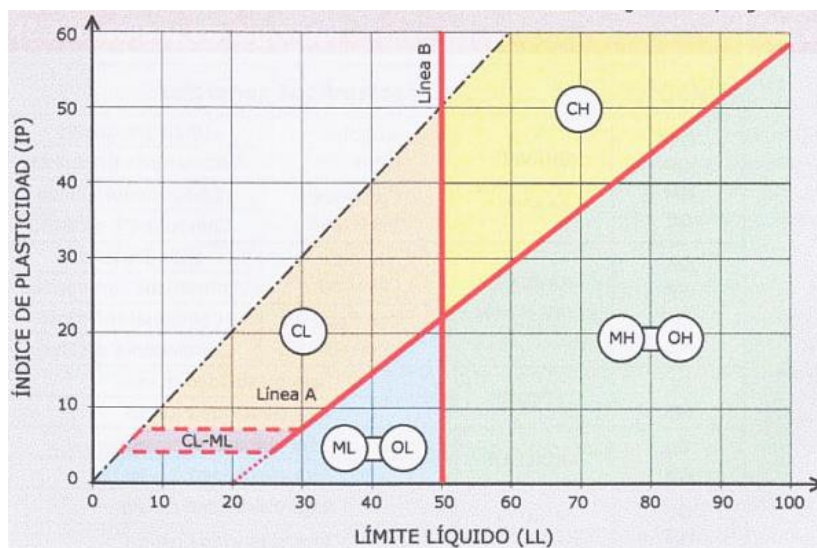
Los suelos finos que caen sobre la línea A y con  $4\% < IP < 7\%$  se consideran como casos de frontera, asignándoles el símbolo doble CL-ML.

**Grupos OL y OH.** Las zonas correspondientes a estos dos grupos son los mismos que la de los grupos ML y MH, respectivamente, si bien los orgánicos están siempre en lugares próximos a la línea A.

**Grupos Pt.** Las pruebas de límites pueden ejecutarse en la mayoría de suelos turbosos, después de un completo remoldeo. El límite líquido de estos suelos puede estar entre 300% y 500%, quedando su posición en la carta de plasticidad netamente abajo de la línea A; el índice plástico normalmente varía entre 100% y 200%.

Para clasificar el suelo se considera la Carta de Plasticidad para suelos finos y orgánicos (Ver Gráfica 3.7).

*Gráfica 3.7. Carta de Plasticidad para suelos cohesivos*



*Fuente: Principios de la Ingeniería geotécnica, Braja M. Dass, 1998*

Según la tabla se clasifican los ambos tipos de suelo:

Suelo “Los Chapacos”	CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad)
Suelo “Av. Panamericana”	CL (Arcilla inorgánica de baja plasticidad)

#### **3.1.3.4. Ensayo de compactación**

Es un método artificial, aumentar la resistencia del suelo y de esa manera eliminar los espacios vacíos.

Los objetivos principales de la compactación son:

Reducir el volumen de espacios vacíos.

Aumentar la resistencia de los suelos al corte.

Disminuye la permeabilidad del suelo

Disminuir la susceptibilidad de cambio volumétrico del suelo con esto se evitan los asentamientos, se obtiene una superficie consistente regular.

La relación entre densidad en suelo seco y el contenido de humedad para prácticamente todos los suelos adopta la forma de una línea parabólica donde la densidad en seco que alcanza es baja para un esfuerzo de compactación dado, la densidad en seco aumenta al aumentar el contenido de humedad hasta un valor máximo cuando alcanza el contenido de humedad óptima.

Los materiales utilizados para el ensayo son:

El molde de compactación modificado consiste en un molde cilíndrico de acero de 152,4mm. de diámetro y 116,4 de altura con una capacidad de 2,124cm<sup>3</sup>. Equipo completo con base y collar.

Pisón de compactación modificado - ASTM D-698 - AASHTO T-180

Martillo de compactación tiene una caída libre de 457mm. y un peso de 4,540kg.

Enrasador: Un enrasador metálico rígido de cualquier longitud conveniente pero no menor de 25cm (10"). La longitud total del enrasador debe ser maquinada recta con una tolerancia de  $\pm 0.1\text{mm}$  (0.005"). El borde del enrasador será biselado si es más grueso de 3mm (1/8"). Se siguieron los pasos de la Norma Boliviana de Ensayos de Suelos y Materiales (AASHTO T272). (Ver Figura 3.17– 3.18 – 3.19)

*Figura 3.17. Enrasando el suelo compactado al molde*



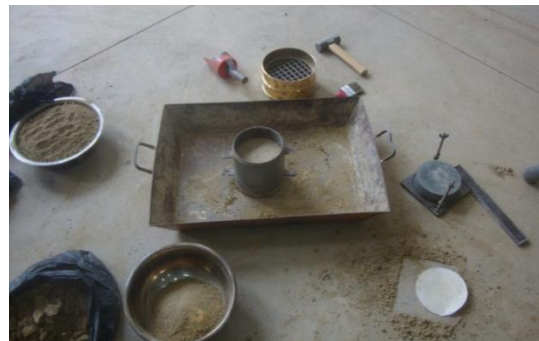
*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.18. Desmoldando para extraer humedad*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.19. Materiales utilizados para compactación*



*Fuente: Elaboración propia*

### a. Suelo fino “Los Chapacos”

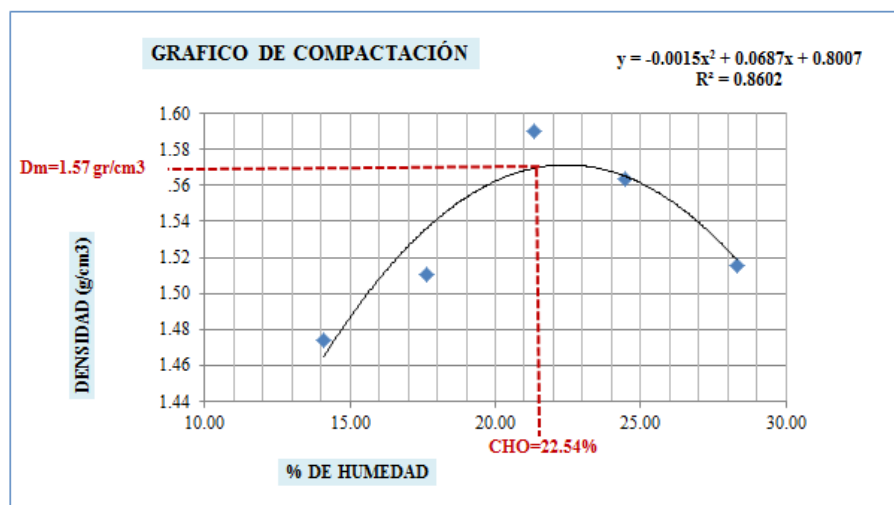
El Contenido de humedad óptima y la densidad máxima se presenta en la Tabla 3.15. y en la Gráfica 3.8.

Tabla 3.15. Datos y Resultados Parciales de Compactación “Los Chapacos”

Nº de capas	5	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	10096.1	10376.9	10391.4	10301.6	10215.4
Peso del molde	6225	6225	6225	6225	6225
Peso suelo húmedo	3871.1	4151.9	4166.4	4076.6	3990.4
Volumen de la muestra	2188.0	2188.0	2188.0	2188.0	2188.0
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.90	1.90	1.86	1.82
Cápsula N°	1	2	3	4	5
Peso suelo húmedo + capsula	43.5	51.5	56.7	57.5	52.3
Peso suelo seco + cápsula	40.5	47.3	51.4	51.3	45.9
Peso del agua	3.00	4.20	5.30	6.20	6.40
Peso de la cápsula	19.8	20.8	21	21.6	21
Peso suelo seco	20.70	26.50	30.40	29.70	24.90
Contenido de humedad (%h)	14.08	17.65	21.36	24.48	28.29
Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.47	1.51	1.59	1.56	1.52

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.8. Gráfico de Compactación de suelo “Los Chapacos”



Densidad Máxima	1.57 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Óptima	22.54%

### b. Suelo fino “Avenida Panamericana”

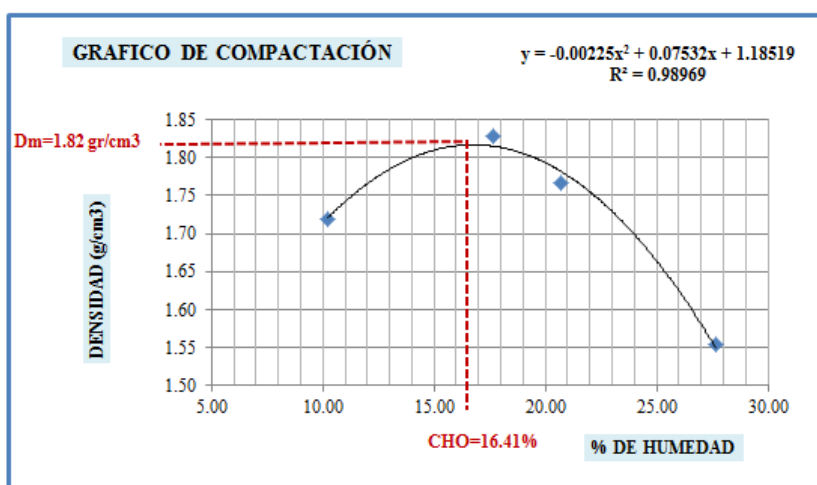
El CHO y la densidad máxima se presentan en la Tabla 3.16. y en la Gráfica 3.9.

Tabla 3.16. Datos y Resultados Parciales de Compactación “Av. Panamericana”

Nº de capas	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde	10296.33	10827.00	10787.33	10478.67
Peso del molde	6395.00	6395.00	6395.00	6395.00
Peso suelo húmedo	3901.33	4432.00	4392.33	4083.67
Volumen de la muestra	2059.4	2059.4	2059.4	2059.4
Densidad suelo húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	1.89	2.15	2.13	1.98
Cápsula N°	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	89.52	70.87	71.62	71.20
Peso suelo seco + cápsula	83.23	63.45	63.01	60.43
Peso del agua	6.29	7.42	8.61	10.77
Peso de la cápsula	21.79	21.45	21.40	21.44
Peso suelo seco	61.44	42.00	41.60	38.99
Contenido de humedad (%h)	<b>10.24</b>	<b>17.67</b>	<b>20.70</b>	<b>27.63</b>
Densidad suelo seco (gr/cm <sup>3</sup> )	<b>1.72</b>	<b>1.83</b>	<b>1.77</b>	<b>1.55</b>

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.9. Gráfico de Compactación de suelo “Av. Panamericana”



Densidad Máxima	<b>1.82</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
Humedad Óptima	<b>16.41</b>	<b>%</b>

### c. Resumen de los Resultados

En la Tabla 3.16. se presenta un resumen donde muestra los resultados de los ensayos realizados para determinar la densidad máxima y el contenido de humedad óptima.

*Tabla 3.17. Densidad Máxima y Humedad Óptima para suelos de “Los Chapacos” y “Av. Panamericana”*

	Los Chapacos		Av. Panamericana	
	Densidad Máx.	Humedad Ópt.	Densidad Máx.	Humedad Ópt.
Ensayo 1	1.58	22.73	1.82	16.65
Ensayo 2	1.57	22.59	1.83	16.02
Ensayo 2	1.57	22.29	1.80	16.57
<b>Ensayo Prom.</b>	<b>1.57</b>	<b>22.54</b>	<b>1.82</b>	<b>16.41</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 3.1.3.5. Capacidad de Soporte

Los suelos que se están caracterizando el uso que se piensa dar son como subrasante de un pavimento, por lo tanto el suelo debe tener la capacidad de soportar las cargas transmitidas por la estructura del pavimento.

La capacidad de carga es función del tipo de suelo, del grado de compactación y de su contenido de humedad.

El propósito del pavimento es proporcionar una superficie confortable al tránsito de vehículos.

Como son suelos finos tendrán valores muy bajos de capacidad de soporte, lo cual se verifica con los resultados de laboratorio. Se realizaron 3 ensayos.

Los materiales y equipos utilizados para el ensayo de Valor de Soporte California CBR son:

Aparato para medir la expansión con (expansímetro) de carátula con presión de 0.01 mm. Pesos para sobre cargar de 2.27 kg cada una. La carga anular, de diámetro exterior de 149.2mm, debe disponer de una perforación en el centro de aproximadamente de 54mm de diámetro.

Máquina de compresión equipada con pistón de penetración C.B.R. (diámetro de 4.953 cm. con sección transversal de 19.4 cm) y capa de penetración a una tasa de 1.27 mm/ min.

Se siguieron los pasos de la Norma Boliviana de Ensayos de Suelos y Materiales (ASTM D1883 AASHTO T193). (Ver Figura 3.20– 3.21 – 3.22 -3.22-3.24-3.25)

*Figura 3.20. Compactando el suelo*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.21. Molde más suelo compactado*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.22. Sacando el collarín para enrasar*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.23. Lecturando la expansión con el extensómetro*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.24. Moldes sumergidos en agua*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.25. Equipo preparado para lecturar las resistencias*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **a. Suelo fino “Los Chapacos”**

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.18. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.19. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.20. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.10. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.11.

Tabla 3.18. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”

N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10310		10860	10360		10960	10440		11260
Peso Molde	6225		6225	6225		6225	6225		6225
Peso muestra húmeda	4085		4635	4135		4735	4215		5035
Volumen de la muestra	2188		2188	2188		2188	2188		2188
Peso Unit. Muestra Húm.	1.867		2.118	1.890		2.164	1.926		2.301
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2° sup.	Fondo	Superf.	2° sup.	Fondo	Superf.	2° sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	51.1	44.133	46.633	57.5	52.63	48.933	44.367	47.53	58.867
Peso muestra seca + tara	45.63	40.133	41.4	51.133	46.93	43.6	40.1	42.83	51.867
Peso del agua	5.467	4	5.2333	6.3667	5.7	5.3333	4.2667	4.7	7
Peso de tara	20.6	22.5	21.1	21.9	22.4	21.6	21	22	21.9
Peso de la muestra seca	25.03	17.633	20.3	29.233	24.53	22	19.1	20.83	29.967
Contenido humedad %	21.84	22.684	25.78	21.779	23.23	24.242	22.339	22.56	23.359
Promedio cont. Humedad	22.26		25.78	22.51		24.242	22.45		23.359
Peso Unit.muestra seca	1.527		1.6842	1.543		1.7418	1.573		1.8654

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.19. Valores de Expansión de “Los Chapacos”

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.		EXPANSION	LECT.		EXPANSION	LECT.		EXPANSION
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
11-mar	10:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-mar	10:10	2	8.81	0.881	4.955	7.04	0.704	3.958	4.68	0.468	2.630
13-mar	09:45	3	9.33	0.933	5.247	7.12	0.712	4.006	5.66	0.566	3.181
17-mar	10:02	4	10.73	1.073	6.037	7.42	0.742	4.171	6.47	0.647	3.641

Fuente: Elaboración Propia

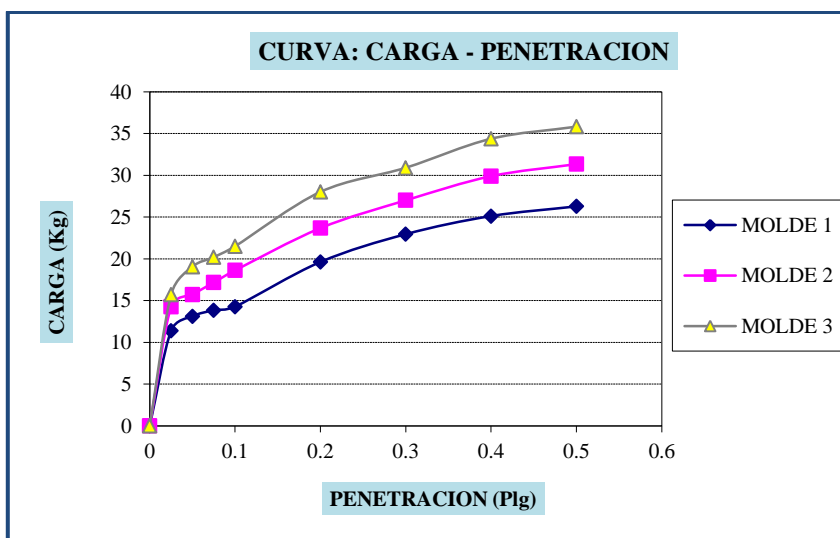
Tabla 3.20. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”

PENETRACION		CARGA NORMAL	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		11.4	0.6		14.3	0.7		15.7	0.8	
0.05	1.27		13.1	0.7		15.7	0.8		19.1	1.0	

0.075	1.9		13.8	0.7		17.2	0.9		20.2	1.0	
0.1	2.54	1360	14.3	0.7	<b>1.1</b>	18.6	1.0	<b>1.4</b>	21.5	1.1	<b>1.6</b>
0.2	5.08	2040	19.6	1.0	<b>1.0</b>	23.7	1.2	<b>1.2</b>	28.0	1.4	<b>1.4</b>
0.3	7.62		23.0	1.2		27.0	1.4		30.9	1.6	
0.4	10.16		25.1	1.3		29.9	1.5		34.4	1.8	
0.5	12.7		26.3	1.4		31.3	1.6		35.8	1.9	

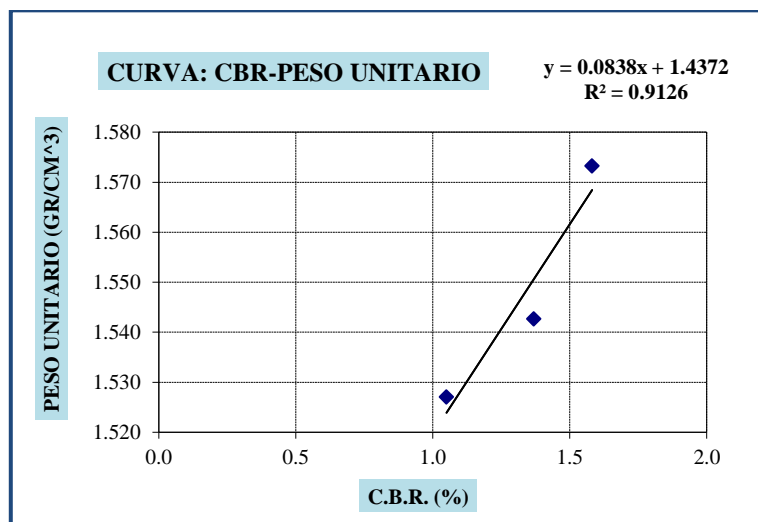
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.10. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.11. Curva CBR-Peso Unitario “Los Chapacos”



CBR 100% D.máx
<b>1.58 %</b>
CBR 95% D.Máx.
<b>1.51 %</b>

*Fuente: Elaboración Propia*

### **b. Suelo fino “Avenida Panamericana”**

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.21. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.22. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.23. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.12. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.13.

*Tabla 3.21. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana*

N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojar		D. de M	Antes de mojar		D. de M	Antes de mojar		D. de M
Peso muestra húm.+molde	11433		11757	11477		11768	11507		11787
Peso Molde	7165		7165	7165		7165	7165		7165
Peso muestra húmeda	4268		4592	4312		4603	4342		4622
Volumen de la muestra	2039		2039	2039		2039	2039		2039
Peso Unit. Muestra Húm.	2.093		2.252	2.115		2.258	2.129		2.267
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	62.83	59.83	59.67	62.30	64.13	62.97	84.93	74.70	77.00
Peso muestra seca + tara	56.63	53.76	52.73	56.30	57.17	55.67	77.33	68.17	69.90
Peso del agua	6.20	6.08	6.93	6.00	6.97	7.30	7.60	6.53	7.10
Peso de tara	17.27	16.83	17.20	17.67	17.43	16.83	29.40	29.20	28.90
Peso de la muestra seca	39.37	36.92	35.53	38.63	39.73	38.83	47.93	38.97	41.00
Contenido humedad %	15.75	16.46	19.51	15.53	17.53	18.80	15.86	16.77	17.32
Promedio cont. Humedad	16.103		19.512	16.532		18.798	16.311		17.317
Peso Unit.muestra seca	1.803		1.884	1.815		1.900	1.831		1.932

*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 3.22. Valores de Expansión de “Av. Panamericana”

FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		EN	LECT.	EXPANSION	LECT.	EXPANSION	LECT.	EXPANSION	LECT.	EXPANSION	
		DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
28-mar	10:00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29-mar	10:10	2	8.81	0.881	4.955	7.04	0.704	3.958	4.68	0.468	2.630
30-mar	09:45	3	9.33	0.933	5.247	7.12	0.712	4.006	5.74	0.574	3.226
31-mar	10:02	4	10.73	1.073	6.037	7.42	0.742	4.171	6.27	0.627	3.525

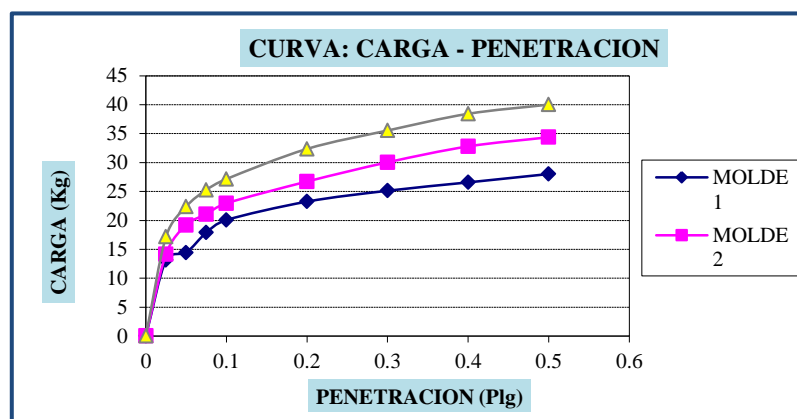
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.23. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		13.1	0.7		14.1	0.7		17.2	0.9	
0.05	1.27		14.4	0.7		19.2	1.0		22.4	1.2	
0.075	1.9		17.9	0.9		21.1	1.1		25.3	1.3	
0.1	2.54	1360	20.1	1.0	<b>1.5</b>	23.0	1.2	<b>1.7</b>	27.2	1.4	<b>2.0</b>
0.2	5.08	2040	23.2	1.2	<b>1.1</b>	26.7	1.4	<b>1.3</b>	32.4	1.7	<b>1.6</b>
0.3	7.62		25.1	1.3		30.0	1.6		35.5	1.8	
0.4	10.16		26.6	1.4		32.8	1.7		38.4	2.0	
0.5	12.7		28.0	1.4		34.4	1.8		40.0	2.1	

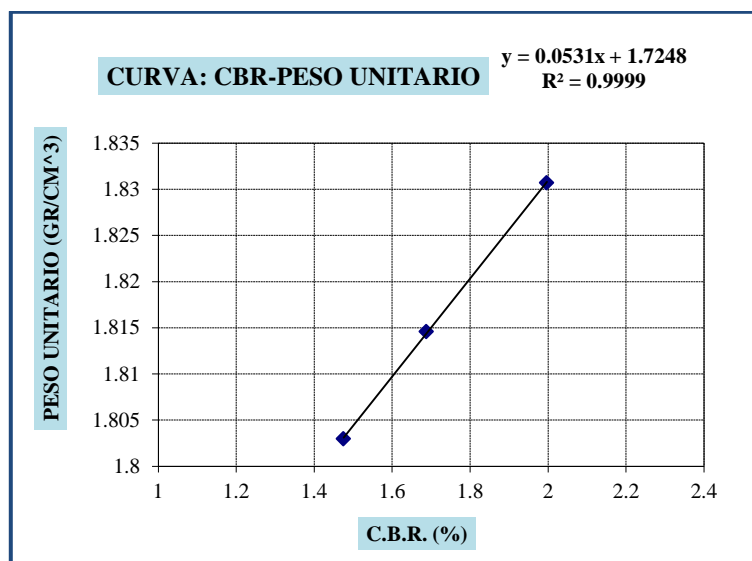
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.12. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.13. Curva CBR-Peso Unitario “Av. Panamericana”



CBR 100% D.máx	<b>1.90 %</b>
CBR 95% D.Máx.	<b>1.81 %</b>

Fuente: Elaboración Propia

### c. Resumen de los Resultados

En la Tabla 3.24. se presenta un resumen donde muestra los resultados de los ensayos realizados para determinar el %CBR.

Tabla 3.24. % CBR para suelos de “Los Chapacos” y “Av. Panamericana”

	CBR %	
	Los Chapacos	Av. Panamericana
Ensayo 1	1.56	1.82
Ensayo 2	1.44	1.78
Ensayo 3	1.50	1.85
<b>Ensayo Prom.</b>	<b>1.51</b>	<b>1.81</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.3.6. Compresión simple

Con este ensayo se obtiene la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ), e indirectamente la resistencia al corte ( $q_c$ ).

Los materiales y equipos a utilizar en este ensayo son:

Máquina de compresión inconfiada (cualquier tipo de máquina de compresión que tenga un sistema de lectura de carga de rango suficientemente bajo, para obtener lecturas de carga aproximada).

Deformímetro: Lectura con precisión de 0.01mm/división)

Para el desarrollo del ensayo se siguió la Norma Boliviana de Ensayos de Suelos y Materiales (ASTM D2126 AASHTO T208).

*Figura 3.26. Compactación de capas*



*Figura 3.27. Lecturando las resistencias*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.28. Molde llegando a la ruptura*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 3.29. Molde después de ser sometido a la carga*



*Fuente: Elaboración propia*

### **a. Suelo fino “Los Chapacos”**

Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.25 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.14

*Tabla 3.25. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”*

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	11.60	0.0039	0.130500	0.000212	78.54	78.56	26.06	11.82	0.150453
2	20.00	44.95	0.0079	0.391500	0.000423	78.54	78.57	27.97	12.69	0.161465
3	30.00	59.45	0.0118	0.609000	0.000635	78.54	78.59	29.56	13.41	0.170632
4	40.00	78.30	0.0157	0.826500	0.000847	78.54	78.61	31.16	14.13	0.179796
5	50.00	113.10	0.0197	1.174500	0.001058	78.54	78.62	33.71	15.29	0.194474
6	60.00	136.30	0.0236	1.392000	0.001270	78.54	78.64	35.30	16.01	0.203629
7	80.00	153.70	0.0315	1.566000	0.001693	78.54	78.67	36.58	16.59	0.210896
8	90.00	168.20	0.0354	1.740000	0.001905	78.54	78.69	37.85	17.17	0.218203
9	100.00	182.70	0.0394	1.827000	0.002117	78.54	78.71	38.49	17.46	0.221832
10	110.00	173.53	0.0433	1.735333	0.002328	78.54	78.72	37.82	17.15	0.217913
11	120.00	161.57	0.0472	1.615667	0.002540	78.54	78.74	36.94	16.76	0.212814

*Fuente: Elaboración Propia*

Gráfica 3.14. Curva Deformación Unitaria Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Suelo fino “Avenida Panamericana”

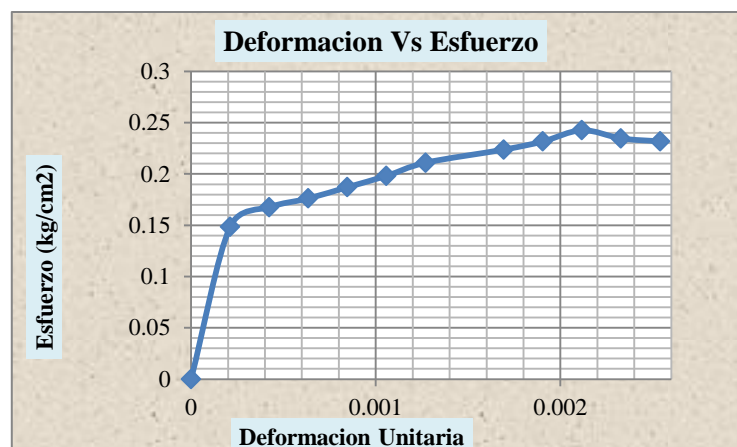
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.26 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.15

Tabla 3.26. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	8.70	0.0039	0.087000	0.000212	78.54	78.56	25.74	11.67	0.148612
2	20.00	53.65	0.0079	0.536500	0.000423	78.54	78.57	29.03	13.17	0.167601
3	30.00	73.95	0.0118	0.739500	0.000635	78.54	78.59	30.52	13.84	0.176153
4	40.00	100.05	0.0157	1.000500	0.000847	78.54	78.61	32.43	14.71	0.187156
5	50.00	126.15	0.0197	1.261500	0.001058	78.54	78.62	34.35	15.58	0.198153
6	60.00	156.60	0.0236	1.566000	0.001270	78.54	78.64	36.58	16.59	0.210985
7	80.00	187.05	0.0315	1.870500	0.001693	78.54	78.67	38.81	17.60	0.223764
8	90.00	205.90	0.0354	2.059000	0.001905	78.54	78.69	40.19	18.23	0.231682
9	100.00	232.00	0.0394	2.320000	0.002117	78.54	78.71	42.11	19.10	0.242658
10	110.00	213.20	0.0433	2.132000	0.002328	78.54	78.72	40.73	18.47	0.234666
11	120.00	206.47	0.0472	2.064667	0.002540	78.54	78.74	40.23	18.25	0.231773

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.15. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### c. Resumen de los Resultados

En la Tabla 3.27. y Tabla 3.28 se presenta un resumen donde muestra los resultados de los ensayos realizados para determinar el esfuerzo último.

Tabla 3.27. Resultados de Compresión simple para suelos de “Los Chapacos”

Los Chapacos							
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo Prom	
Def. Unit.	Esf (Kg/cm2)	Def. Unit.	Esf (Kg/cm2)	Def. Unit.	Esf (Kg/cm2)	Def. Unit.	Esf (Kg/cm2)
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.15045	0.00021	0.15045	0.00021	0.14861	0.00021	0.15045
0.00042	0.16331	0.00042	0.16331	0.00042	0.16515	0.00042	0.16147
0.00064	0.16879	0.00064	0.16879	0.00064	0.17247	0.00064	0.17063
0.00085	0.17796	0.00085	0.17796	0.00085	0.17796	0.00085	0.17980
0.00106	0.19263	0.00106	0.19263	0.00106	0.19263	0.00106	0.19447
0.00127	0.20179	0.00127	0.20179	0.00127	0.20363	0.00127	0.20363
0.00169	0.20906	0.00169	0.20906	0.00169	0.21090	0.00169	0.21090
0.00191	0.21637	0.00191	0.21637	0.00191	0.21453	0.00191	0.21820
0.00212	0.22183	0.00212	0.22183	0.00212	0.22183	0.00212	0.22183
0.00233	0.21819	0.00233	0.21819	0.00233	0.21735	0.00233	0.21791
0.00254	0.21304	0.00254	0.21304	0.00254	0.21236	0.00254	0.21281

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.28. Resultados de Compresión simple para suelos de “Av. Panamericana

Av. Panamericana							
Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Ensayo Prom	
Def. Unit.	Esf (Kg/cm2)	Def. Unit.	Esf (Kg/cm2)	Def. Unit.	Esf (Kg/cm2)	Def. Unit.	Esf (Kg/cm2)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.00021	0.15045	0.00021	0.14861	0.00021	0.14677	0.00021	0.14861
0.00042	0.16883	0.00042	0.16883	0.00042	0.16515	0.00042	0.16760
0.00064	0.17799	0.00064	0.17615	0.00064	0.17431	0.00064	0.17615
0.00085	0.18900	0.00085	0.18716	0.00085	0.18532	0.00085	0.18716
0.00106	0.19999	0.00106	0.19815	0.00106	0.19631	0.00106	0.19815
0.00127	0.21282	0.00127	0.20915	0.00127	0.21099	0.00127	0.21099
0.00169	0.22193	0.00169	0.22560	0.00169	0.22376	0.00169	0.22376
0.00191	0.23107	0.00191	0.23107	0.00191	0.23291	0.00191	0.23168
0.00212	0.24205	0.00212	0.24205	0.00212	0.24388	0.00212	0.24266
0.00233	0.23433	0.00233	0.23484	0.00233	0.23484	0.00233	0.23467
0.00254	0.23196	0.00254	0.23208	0.00254	0.23128	0.00254	0.23177

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2. Criterios de selección de los materiales geosintéticos

Es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones antes de elegir el tipo de material con el que se trabajará, ya que cada geosintético fue creado para cumplir una o más funciones, según la Tabla N° 3.29 se muestra las funciones que puede cumplir al determinar geosintéticos.

Tabla 3.29 Funciones de los geosintéticos en aplicación

	Geotextiles	Geocompuestos	Geomembranas	Geogrilla	Geomallas
Separación	X			X	X
Filtración	X	X		X	
Refuerzo	X			X	X
Drenaje	X	X			
Protección	X				
Barrera	X		X		

FUENTE: (LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

De acuerdo a la tabla se puede identificar claramente los tipos de geosintéticos que según sus características y propiedades nos darán una mayor eficacia para el uso como refuerzo en una carretera.

El concepto básico que se consideró el **incremento de la capacidad portante** se busca un geosintético que permite incrementar la capacidad portante del sistema que conforman las capas estructurales de la vía, y la forma más común de introducir ese incremento es dentro de las propiedades mecánicas que presenta la capa de subrasante de la vía en estudio.

La capacidad portante se determina con el CBR de la subrasante, medido para las condiciones más críticas de densidad y de humedad.

Según este requerimiento se logró identificar como buenas alternativas el uso de geotextiles tejidos como no tejidos, geomallas y geogrillas.

#### **a. Selección de Geotextiles**

La función de refuerzo de los geotextiles consiste en el complemento y por ende en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo.

Los geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y son un buen complemento de aquellos materiales con alta resistencia a la compresión pero con poca resistencia a la tensión, como ocurre generalmente en los suelos finos y granulares.

Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por cargas externas, como en las vías, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la aplicación de mayores cargas y un aumento de la vida útil de la estructura de pavimento.

El refuerzo con geotextiles soporta la fuerza de tensión del suelo, disminuyendo la fuerza de corte y aumentando la resistencia al corte del suelo, con el incremento del esfuerzo normal que actúa en las potenciales superficies de corte. En efecto, cuando el suelo se deforma a lo largo de una superficie de ruptura (en cortante), se generan deformaciones a compresión y tracción.

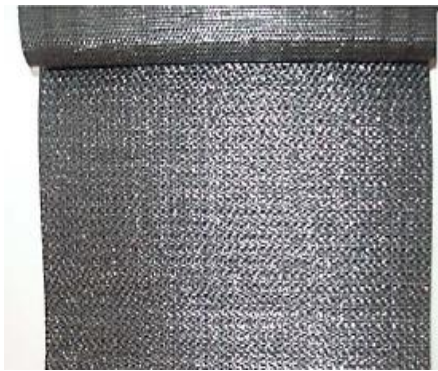
El refuerzo con geotextiles permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el suelo y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión.

Las propiedades mecánicas de los geotextiles que mayor aplicación tienen sobre este requerimiento son las definidas por el comportamiento de tensión – elongación en un ensayo de tensión biaxial, donde la deformación lateral del geotextil es restringida.

En cuanto a la resistencia de los geotextiles, existe una gran variedad de ensayos que tienen como objetivo determinar las propiedades de resistencia en función de la dirección, la uniformidad y la duración de la carga aplicada y del área sobre la cual se aplica la carga.

De acuerdo a los puntos señalados y las especificaciones técnicas se eligió los siguientes tipos de geotextiles:

Geosintético tejido T 2400 (Ver Cuadro N° 3.8.)



Geosintético no tejido NT 2500 (Ver Cuadro N° 3.9.)



## **b. Selección de Geomallas**

El mejoramiento de la capacidad portante se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular de mucha más resistencia. Este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto.

*Membrana tensionada.*- El efecto de membrana tensionada se origina con la propiedad por la cual un material flexible elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la geomalla hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la geomalla. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado.

De acuerdo con lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras viales es el confinamiento lateral de los materiales granulares, mediante el cual se alcanzarían 4 beneficios principales:

### *Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la base o subbase*

La colocación de una o varias capas de la geomalla dentro o en el fondo de la capa de base permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla. A medida que la base trata de desplazarse lateralmente, la carga por cortante es transmitida desde los agregados hacia la geomalla generando tensión en esta. La alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta, situación que se generará constantemente en la zona donde se encuentra un diferencial de tipos de estructura.

*Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad del refuerzo*- Se espera un incremento en la rigidez de la capa granular cuando se desarrolla una adecuada interacción entre esta y la geomalla. Un aumento en el módulo de la base resultaría también en menores deformaciones verticales

dinámicas recuperables de la superficie de la vía, implicando una reducción en la fatiga del pavimento.

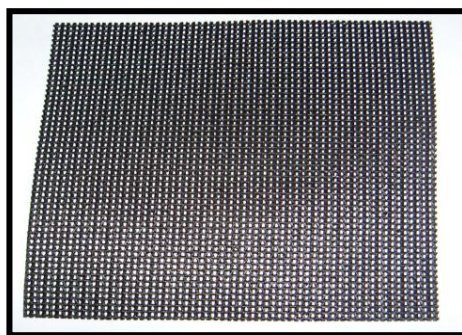
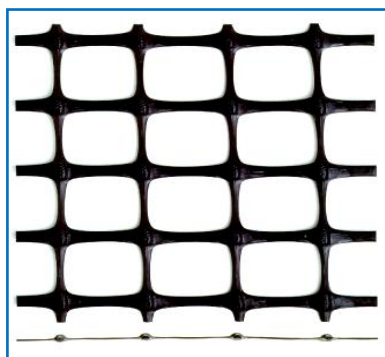
*Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la subrasante.-* En sistemas estratificados, un aumento en el módulo de los granulares resulta en una distribución de esfuerzos verticales más amplia sobre la subrasante. En términos generales, el esfuerzo vertical sobre la subbase o subrasante directamente por debajo de la geomalla debe disminuir a medida que aumenta la rigidez de la base. Esto se refleja en una deformación superficial menor y más uniforme.

*Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la subrasante.-* La disminución de la deformación por corte transmitida desde la base o subbase hacia la subrasante a medida que el cortante de la base transmite las cargas tensionales hacia el refuerzo, genera un estado de esfuerzos menos severo que lleva a una menor deformación vertical de la subrasante.

Es importante recalcar que las geogrillas son consideradas como un tipo de geomallas, cumpliendo las mismas funciones y generando los mismos efectos sobre un suelo, la diferencia es el tamaño de la abertura de su grilla lo cual le puede proporcionar mayor efectividad según la función que vaya a desempeñar.

De acuerdo a los puntos señalados y las especificaciones técnicas se eligió los siguientes tipos de geomallas:

Geomalla Biaxial (Ver Cuadro N° 3.10.)    Geogrilla WG40 (Ver Cuadro N° 3.11.)



Cuadro 3.8. Especificaciones técnicas Geotextil tejido

GEOTEXTILES TEJIDOS										
PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Método Grab										
Resistencia a la Tensión	ASTM D 4632	N(lb)	660(148)	1000(225)	1200(270)	1300(293)	1560(351)	2050(462)	2570(579)	2800(630)
Elongación		%	19	20	22	20	20	19	22	22
Método Tira Ancha										
Sentido Longitudinal	ASTM D 4595	KN/m	16	25	28	37	40	56	75	95
Elongación		%	16	24	17	22	22	29	28	19
Sentido Transversal	ASTM D 4595	KN/m	17	25	30	38	43	55	65	95
Elongación		%	14	15	17	15	16	17	17	18
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	390(87)	540(122)	600(135)	710(160)	780(176)	1010(277)	1240(279)	1045(235)
Método CBR										
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 6241	KN	2.5	3.8	4.3	5.2	6.2	7.7	10	11
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	N (lb)	300(67)	270(61)	400(90)	460(103)	570(128)	685(154)	810(182)	1520(342)
Método MullenBurst										
Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	Kpa (psi)	2276(330)	3243(470)	3450(500)	4485(650)	5141(745)	6210(900)	7590 (1100)	7797(1130)
<b>PROPIEDADES HIDRÁULICAS</b>										
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm (N° Tamiz)	0.600(30)	0.300(50)	0.300(50)	0.425(40)	0.850(20)	0.600(30)	0.425(40)	0.425(40)
Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	0.8*10 <sup>-3</sup>	1.0*10 <sup>-3</sup>	0.6*10 <sup>-3</sup>	6.3*10 <sup>-3</sup>	12*10 <sup>-3</sup>	9.1*10 <sup>-3</sup>	7.8*10 <sup>-3</sup>	7.0*10 <sup>-3</sup>
Permitividad	ASTM D 4491	s-1	0.2	0.17	0.09	0.7	1	0.7	0.6	1
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>										
Espesor	ASTM D 5199	mm	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2	1.3	1.3	0.6
Resistencia UV a 500 horas	ASTM D 4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>50
Rollo ancho	Medido	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.75
Rolla largo	Medido	m	200	260	120	100	100	100	100	100
Rollo área	Calculado	m <sup>2</sup>	770	616	462	385	385	385	385	375

Cuadro 3.9. Especificaciones técnicas Geotextil no tejido

GEOTEXTILES NO TEJIDOS													
PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Método Grab													
Resistencia a la Tensión	ASTM D 4632	N(lb)	450(102)	530(120)	620(141)	710(161)	770(175)	1070(243)	1220(277)	1410(320)	1720(391)	530(120)	570(130)
Elongación		%	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	N (lb)	250(57)	310(70)	360(82)	400(91)	440(100)	590(134)	700(159)	800(182)	910(207)	300(68)	320(73)
Método CBR													
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 6241	KN	1.3	1.6	1.8	2.2	2.4	3.1	3.5	4.1	5.4	N/A	N/A
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	N (lb)	210(48)	260(59)	280(64)	320(73)	340(77)	400(91)	460(105)	540(123)	600(136)	250(57)	290(66)
Método MullenBurst													
Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	Kpa (psi)	1311(190)	1587(230)	1794(260)	2070(300)	2208(320)	2829(410)	3174(460)	3795(550)	4830(700)	1518(220)	1587(230)
<b>PROPIEDADES HIDRÁULICAS</b>													
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D 4751	mm (N° Tamiz)	0.250(60)	0.180(80)	0.180(80)	0.150(100)	0.150(100)	0.125(120)	0.106(140)	0.106(140)	0.09(170)	N/A	N/A
Permeabilidad	ASTM D 4491	cm/s	46*10-3	41*10-3	42*10-3	40*10-3	42*10-3	34*10-3	32*10-3	28*10-3	22*10-3	N/A	N/A
Permitividad	ASTM D 4491	s-1	3.1	2.4	2	1.9	2	1.4	1.2	0.9	0.7	N/A	N/A
Retención de asfalto	ASTM D 6140	L/m3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1.1
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>													
Espesor	ASTM D 5199	mm	1.5	1.7	1.9	2	2.1	2.4	2.7	3.1	3.2	1.3	1.5
Resistencia UV a 500 horas	ASTM D 4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
Rollo ancho	Medido	m	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.5-3.8-4.0	3.8-4.0	3.8-4.0
Rolla largo	Medido	m	160	150	130	120	120	130	120	100	80	180	150
Rollo área	Calculado	m2	560-608-640	525-570-600	455-494-520	420-456-480	420-456-480	455-494-520	420-456-480	350-380-400	280-304-320	684-720	570-600

Cuadro 3.10. Especificaciones técnicas Geomalla Biaxial

<b>GEOMALLA BIAxIAL</b>			
<b>LBO 202/LBO 302</b>			
<b>DISEÑADAS ESPECIALMENTE PARA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y APLICACIONES DE REFUERZO</b>			
<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>NORMA</b>	<b>LBO 202</b>	<b>LBO 302</b>
Resistencia a la tensión 2% Deformación (SL/ST)1	ASTM D 6637	(4.1/6.6) KN/m	(6.5/10.5) KN/m
Resistencia a la tensión 5% Deformación (SL/ST)1	ASTM D 6637	(8.5/13.5) KN/m	(13/21) KN/m
Resistencia a la tensión Pico (SL/ST) 2	ASTM D 6637	(13/20.5) KN/m	(17.5/31.5) KN/m
Resistencia en la junta	GRI GG2	0.93	0.93
Rigidez Flexural	ASTM D 1388	500mg-cm*1000	800mg-cm*1000
Rigidez Torsional	US ARMY COE	3.5 kg-cm/deg	6.5 kg-cm/deg
<b>Propiedades Físicas</b>			
Tamaño de abertura (SL/ST)	Medido	(27/37) mm	(28/38) mm
Espesor en las juntas	ASTM D 1777	3 mm	3.5 mm
Espesor de Costillas (SL/ST)	ASTM D 1777	(1.0/1.0) mm	(1.2/1.2) mm
Área abierta	CW 02215	0.75	0.7
Resistencia a los daños de instalación	ASTM D 5818	(>90) %5C/%5W/%GP	(>90) %5C/%5W/%GP
Masa por unidad de área	ISO 9864	210 g/m2	350 g/m2
<b>Presentación</b>			
Ancho del rollo	Medido	3.85 m	3.85 m
Longitud del rollo	Medido	100 m	75 m
Área del rollo	Medido	385 m2	288.75 m2

Cuadro 3.11. Especificaciones técnicas Geogrilla

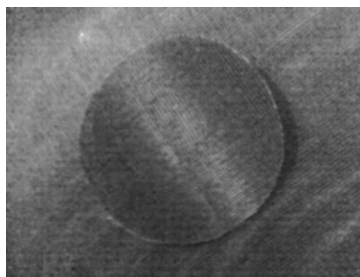
MacGrid WG						
Propiedades Mecánicas			WG 40	WG 60	WG 90	WG 120
Resist. Longitudinal a la tracción	KN/m	ASTM D6637	45.0	60.0	94.0	120.0
Resist. Transversal a la tracción	KN/m	ASTM D6637	30	30.0	30.0	30.0
Elongación a la ruptura	%	ASTM D6637	10.9	11.5	11.7	12.5
Resistencia a 2% deformación	KN/m	ASTM D6637	8.8	11.1	16.6	22.2
Resistencia a 5% deformación	KN/m	ASTM D6637	15.0	17.8	27.9	35.6
Factor de reducción por fluencia		ASTM D5262	1.65	1.65	1.65	1.65
Resist. Disponible por fluencia	KN/m	ASTM D5262	27.3	36.4	57.0	72.7
Propiedades físicas			WG 40	WG 60	WG 90	WG 120
Abertura nominal longitudinal	mm		30.0	30.0	45.0	65.0
Abertura nominal transversal	mm		20.0	20.0	20.0	20.0
Ancho del rollo	m		5.1	5.1	5.1	5.1
Largo del rollo	m		100	100	100	100

### 3.3. APLICACIÓN DE LOS MATERIALES GEOSINTÉTICOS

Conociendo las características de los suelos ubicados en el Barrio Los Chapacos y de la Avenida Panamericana y teniendo seleccionados los materiales geosintéticos a usar, se hizo la verificación del conjunto, es decir si ambos aumentan la resistencia del suelo a la deformación ante la aplicación de una carga, para esto se realizó el ensayo de CBR según la Norma Boliviana (ASTM D1883 AASHTO T193)

Los ensayos para determinar el aumento de la capacidad portante se realizaron en el molde cilíndrico del CBR, por lo tanto para conformar la simulación fue necesario recortar el material geosintético de manera circular para que entre en el molde. (Ver Figura N°30)

Fig. N°30 Geogrilla recortada de forma circular



Fuente: Elaboración Propia

Los ensayos se realizaron a dos diferentes alturas, para poder verificar y luego de los resultados analizar cuál es más eficiente para su uso.

Las alturas seleccionadas son:

El geosintético colocado en la superficie de la capa subrasante (Ver Figura N°31)

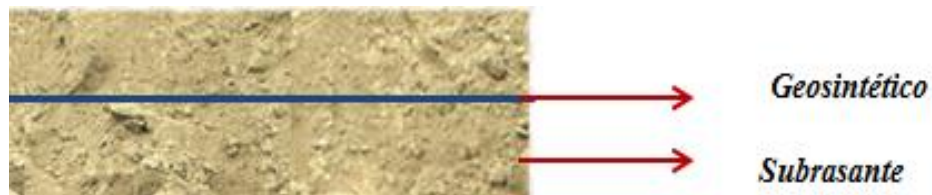
*Fig. N°31 Geosintético colocado en la superficie*



*Fuente: Elaboración Propia*

El geosintético colocado en la mitad de la capa subrasante (Ver Figura N°32)

*Fig. N°32 Geosintético colocado en la mitad*

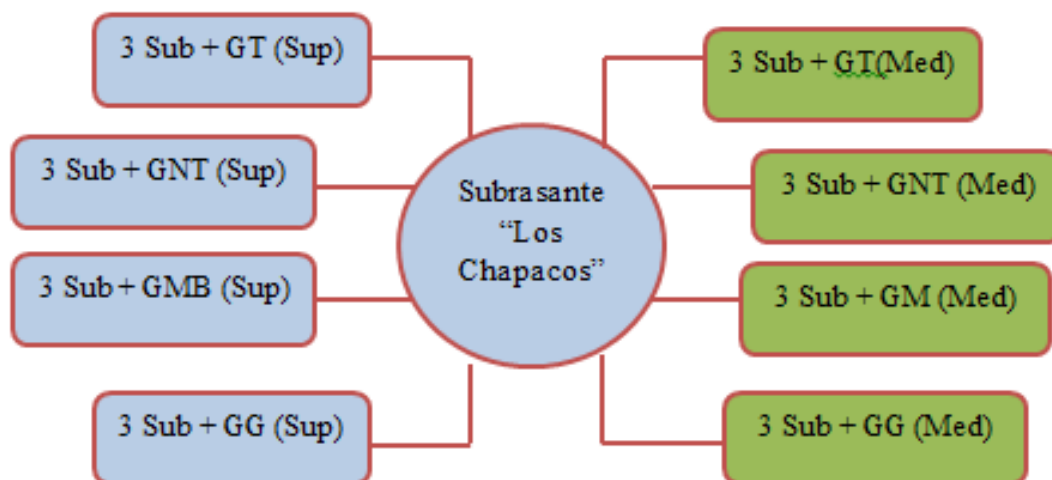


*Fuente: Elaboración Propia*

Se hicieron 3 ensayos para verificar los resultados y que estos sean realmente confiables, lo cual no se hubiera logrado si se realizaba solo un ensayo.

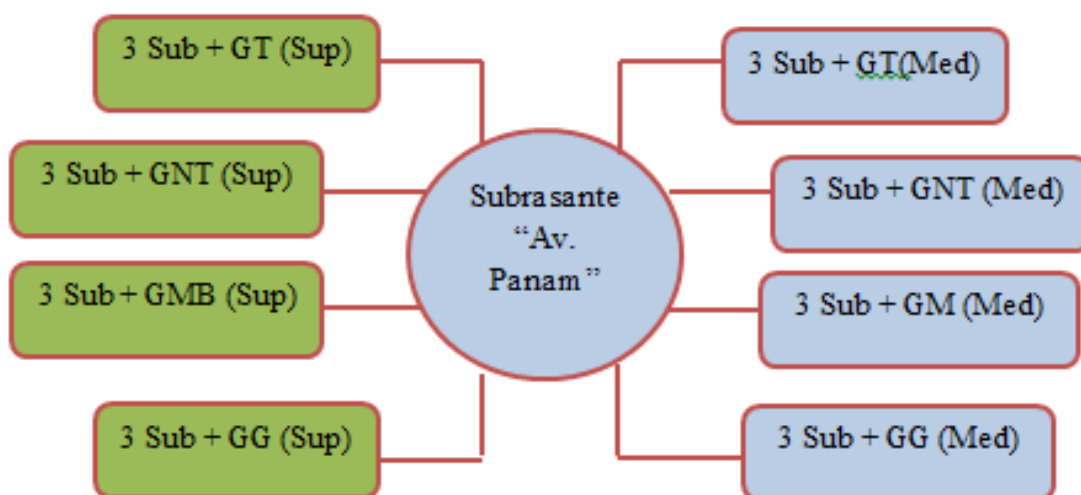
Las combinaciones que usaron para ambos tipos de suelos en el proyecto se indican en las Figuras N°33 y N°34:

*Fig. N°33 Combinaciones de geosintéticos con el suelo de “Los Chapacos”*



*Fuente: Elaboración Propia*

*Fig. N°34 Combinaciones de geosintéticos con el suelo de “Av. Panamericana”*



*Fuente: Elaboración Propia*

Se realizó el ensayo de compresión simple se armaron los moldes en el molde de compactación T-99 tratando de no alterar el molde de suelo, al igual que en el caso

anterior se colocó el material geosintético en la parte superior para verificar y luego comprobar la resistencia.

### 3.3.1. Aplicación de los materiales geosintéticos en la superficie del suelo subrasante “Los Chapacos”

Se presentan los valores y resultados obtenidos en laboratorio en resumen.

#### 3.3.1.1. Aplicación de geotextil tejido

##### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.30. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.31. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.32 la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.16. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.17

*Tabla 3.30. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”*

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10763		10988	10792		10992	10853		11013
Peso Molde	6740		6740	6720		6720	6750		6750
Peso muestra húmeda	4023		4248	4072		4272	4103		4263
Volumen de la muestra	2120.57		2120.57	2120.57		2120.57	2120.57		2120.57
Peso Unit. Muestra Húm.	1.897		2.003	1.920		2.014	1.935		2.010
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	194.8	194.3	136.7	160.57	162.633	129.07	128.03	128.5	112.567
Peso muestra seca + tara	165.7	165.2	111.9	137.33	138.967	106.47	111.17	111.6	94.7
Peso del agua	29.03	29.1	24.8	23.233	23.6667	22.6	16.867	16.9	17.8667
Peso de tara	35.3	35.733	35.167	33.3	34.2	33.533	35.8	36.63	34.4333
Peso de la muestra seca	130.4	129.47	76.733	104.03	104.767	72.933	75.367	75	60.2667
Contenido humedad %	22.26	22.477	32.32	22.333	22.5899	30.987	22.379	22.53	29.646
Promedio cont. Humedad	22.37		32.32	22.46		30.987	22.46		29.646
Peso Unit.muestra seca	1.550		1.5138	1.568		1.5379	1.580		1.55073

*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 3.31. Valores de Expansión de “Los Chapacos”

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
01-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02-abr	10:30	2	4.08	0.408	2.293	3.95	0.395	2.223	3.76	0.376	2.113
03-abr	11:00	3	4.10	0.410	2.304	3.99	0.399	2.242	3.81	0.381	2.143
04-abr	08:00	4	4.13	0.413	2.323	4.02	0.402	2.261	3.86	0.386	2.171

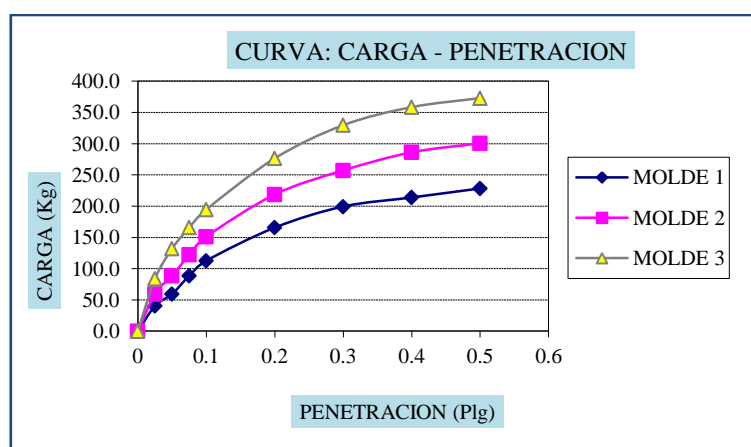
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.32. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
Pulg.	mm	NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
		Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0	
0.025	0.63		40.3	2.1		59.6	3.1		83.7	4.3	
0.05	1.27		59.6	3.1		88.5	4.6		131.9	6.8	
0.075	1.9		88.5	4.6		122.3	6.3		165.7	8.6	
0.1	2.54	1360	112.6	5.8	<b>8.3</b>	151.2	7.8	<b>11.1</b>	194.6	10.1	<b>14.3</b>
0.2	5.08	2040	165.7	8.6	<b>8.1</b>	218.7	11.3	<b>10.7</b>	276.6	14.3	<b>13.6</b>
0.3	7.62		199.4	10.3		257.3	13.3		329.6	17.0	
0.4	10.16		213.9	11.1		286.2	14.8		358.5	18.5	
0.5	12.7		228.4	11.8		300.7	15.5		373.0	19.3	

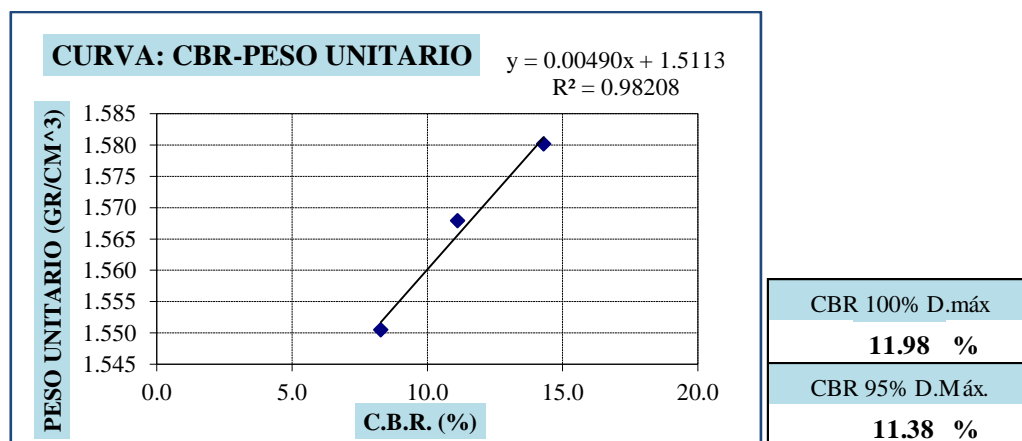
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.16. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.17. Curva CBR-Peso Unitario “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

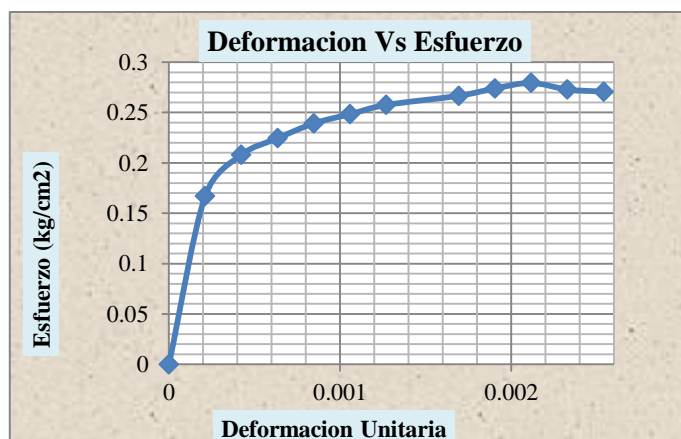
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.33 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.18

Tabla 3.33. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	53.30	0.0039	0.533000	0.000212	78.54	78.56	28.93	13.12	0.167023
2	20.00	148.90	0.0079	1.489000	0.000423	78.54	78.57	36.01	16.34	0.207906
3	30.00	188.25	0.0118	1.882500	0.000635	78.54	78.59	38.90	17.64	0.224509
4	40.00	223.15	0.0157	2.231500	0.000847	78.54	78.61	41.46	18.80	0.239223
5	50.00	244.91	0.0197	2.449067	0.001058	78.54	78.62	43.05	19.53	0.248373
6	60.00	266.69	0.0236	2.666933	0.001270	78.54	78.64	44.65	20.25	0.257532
7	80.00	288.52	0.0315	2.885167	0.001693	78.54	78.67	46.25	20.98	0.266646
8	90.00	305.99	0.0354	3.059867	0.001905	78.54	78.69	47.53	21.56	0.273970
9	100.00	319.01	0.0394	3.190133	0.002117	78.54	78.71	48.48	21.99	0.279415
10	110.00	303.61	0.0433	3.036133	0.002328	78.54	78.72	47.35	21.48	0.272852
11	120.00	298.82	0.0472	2.988233	0.002540	78.54	78.74	47.00	21.32	0.270771

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.18. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.2. Aplicación de geotextil no tejido

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.34. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.35. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.36. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.19. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.20.

Tabla 3.34. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10650		10810	10680		10840	10760		10860
Peso Molde	6773		6773	6763		6763	6823		6823
Peso muestra húmeda	3877		4037	3917		4077	3937		4037
Volumen de la muestra	2059		2059	2059		2059	2059		2059
Peso Unit. Muestra Húm.	1.883		1.960	1.902		1.980	1.912		1.960
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	197.37	183.73	158.67	187.27	174.03	157.13	175.40	182.17	147.90
Peso muestra seca + tara	167.20	156.30	134.93	158.97	148.83	134.50	149.40	155.17	127.77
Peso del agua	30.17	27.43	23.73	28.30	25.20	22.63	26.00	27.00	20.13

Peso de tara	30.03	29.40	26.83	29.83	26.77	28.10	27.47	27.53	25.03
Peso de la muestra seca	137.17	126.90	108.10	129.13	122.07	106.40	121.93	127.63	102.73
Contenido humedad %	21.99	21.62	21.95	21.92	20.64	21.27	21.32	21.15	19.60
Promedio cont. Humedad	21.805		21.955	21.280		21.272	21.239		19.598
Peso Unit.muestra seca	1.546		1.607	1.568		1.633	1.577		1.639

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.35. Valores de Expansión de “Los Chapacos”*

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
15-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16-abr	10:30	2	4.1	0.410	2.306	3.98	0.398	2.240	3.79	0.379	2.132
17-abr	11:00	3	4.15	0.415	2.336	4.02	0.402	2.263	3.87	0.387	2.178
18-abr	08:00	4	4.18	0.418	2.351	4.09	0.409	2.302	3.90	0.390	2.192

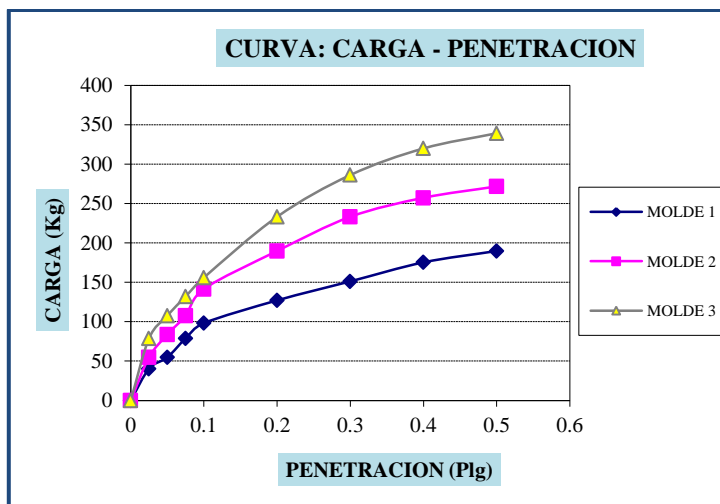
*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.36. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”*

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		C.B.R. COR
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		40.3	2.1		54.8	2.8		78.9	4.1	
0.05	1.27		54.8	2.8		83.7	4.3		107.8	5.6	
0.075	0.9		78.9	4.1		107.8	5.6		131.9	6.8	
0.1	2.54	1360	98.2	5.1	<b>7.2</b>	141.6	7.3	<b>10.4</b>	156.0	8.1	<b>11.5</b>
0.2	5.08	2040	127.1	6.6	<b>6.2</b>	189.8	9.8	<b>9.3</b>	233.2	12.0	<b>11.4</b>
0.3	7.62		151.2	7.8		233.2	12.0		286.2	14.8	
0.4	10.16		175.3	9.1		257.3	13.3		320.0	16.5	
0.5	12.7		189.8	9.8		271.7	14.0		339.2	17.5	

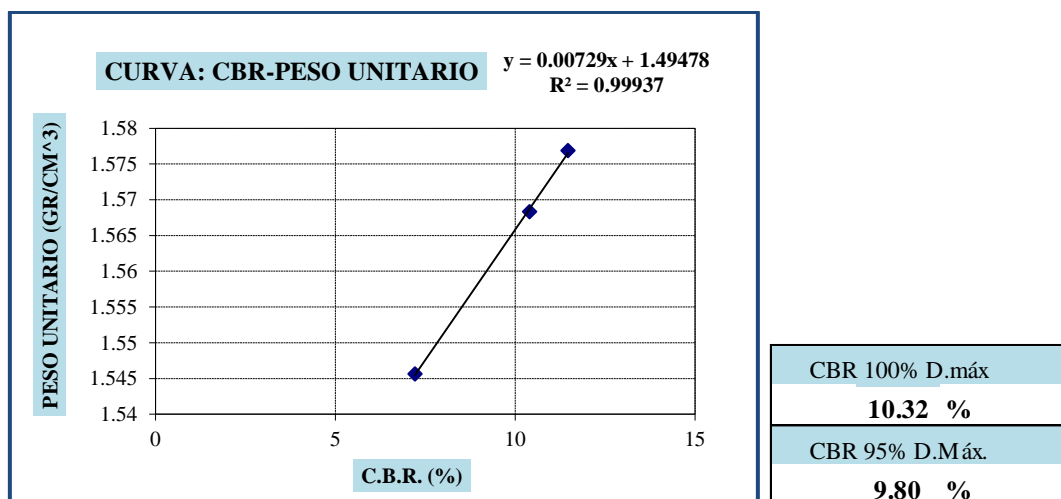
*Fuente: Elaboración Propia*

Gráfica 3.19. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.20. Curva CBR-Peso Unitario “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

**b. Compresión simple**

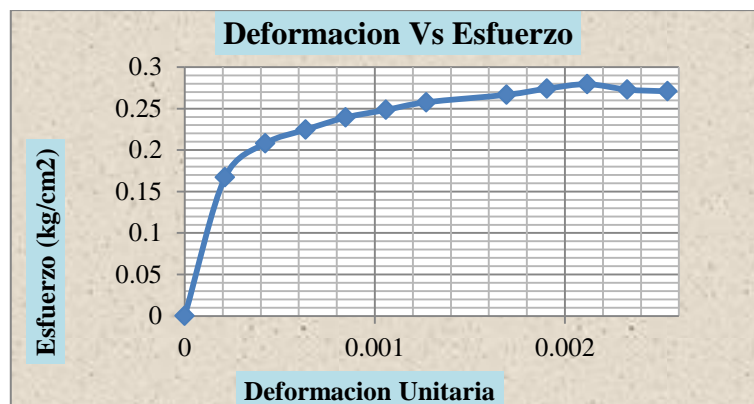
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.37 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.21

Tabla 3.37. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	53.30	0.0039	0.533000	0.000212	78.54	78.56	28.93	13.12	0.167023
2	20.00	148.90	0.0079	1.489000	0.000423	78.54	78.57	36.01	16.34	0.207906
3	30.00	188.25	0.0118	1.882500	0.000635	78.54	78.59	38.90	17.64	0.224509
4	40.00	223.15	0.0157	2.231500	0.000847	78.54	78.61	41.46	18.80	0.239223
5	50.00	244.91	0.0197	2.449067	0.001058	78.54	78.62	43.05	19.53	0.248373
6	60.00	266.69	0.0236	2.666933	0.001270	78.54	78.64	44.65	20.25	0.257532
7	80.00	288.52	0.0315	2.885167	0.001693	78.54	78.67	46.25	20.98	0.266646
8	90.00	305.99	0.0354	3.059867	0.001905	78.54	78.69	47.53	21.56	0.273970
9	100.00	319.01	0.0394	3.190133	0.002117	78.54	78.71	48.48	21.99	0.279415
10	110.00	303.61	0.0433	3.036133	0.002328	78.54	78.72	47.35	21.48	0.272852
11	120.00	298.82	0.0472	2.988233	0.002540	78.54	78.74	47.00	21.32	0.270771

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.21. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.1.3. Aplicación de geomalla biaxial

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.38. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.39. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.40. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.22. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.23.

Tabla 3.38. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”

N° golpes por capa	12			25			56		
	Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M	
Peso muestra húm.+molde	10753	11000		10790	11007		10827	11023	
Peso Molde	6733	6733		6727	6720		6737	6737	
Peso muestra húmeda	4020	4267		4063	4287		4090	4287	
Volumen de la muestra	2121	2121		2121	2121		2121	2121	
Peso Unit. Muestra Húm.	1.896	2.012		1.916	2.021		1.929	2.021	
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	193.13	193.47	134.73	159.87	160.93	127.27	126.87	127.37	112.17
Peso muestra seca + tara	164.60	164.40	110.40	136.73	137.83	105.43	110.33	110.87	94.13
Peso del agua	28.53	29.07	24.33	23.13	23.10	21.83	16.53	16.50	18.03
Peso de tara	37.17	36.50	36.30	33.77	34.77	34.40	36.37	37.13	35.30
Peso de la muestra seca	127.43	127.90	74.10	102.97	103.07	71.03	73.97	73.73	58.83
Contenido humedad %	22.39	22.73	32.84	22.47	22.41	30.74	22.35	22.38	30.65
Promedio cont. Humedad	22.558		32.839	22.440		30.737	22.365		30.652
Peso Unit. muestra seca	1.547		1.515	1.565		1.546	1.576		1.547

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.39. Valores de Expansión de “Los Chapacos”

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
25-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26-abr	10:30	2	3.72	0.372	2.092	3.52	0.352	1.980	3.22	0.322	1.813
27-abr	11:00	3	3.90	0.390	2.192	3.62	0.362	2.038	3.30	0.330	1.856
28-abr	08:00	4	3.93	0.393	2.212	3.78	0.378	2.124	3.47	0.347	1.954

Fuente: Elaboración Propia

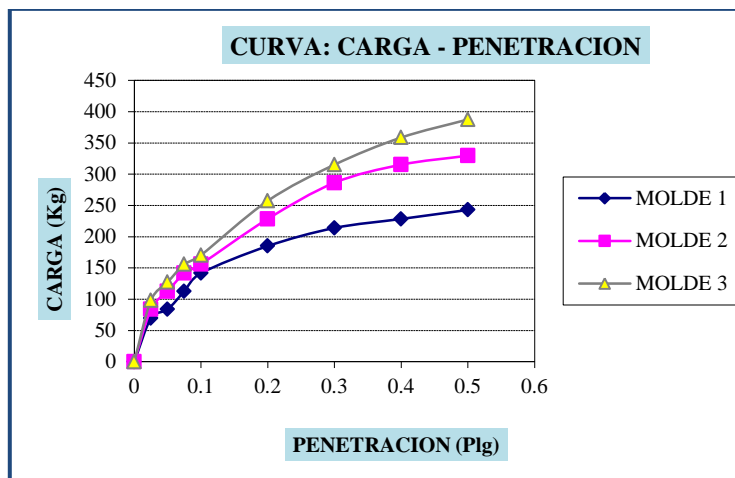
Tabla 3.40. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”

PENETRACION		CARGA NORMAL	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			CARGA ENSAYO	C.B.R. COR		CARGA ENSAYO	C.B.R. COR		CARGA ENSAYO	C.B.R. COR	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		69.2	3.6		83.7	4.3		98.2	5.1	
0.05	1.27		83.7	4.3		112.6	5.8		127.1	6.6	
0.075	1.9		112.6	5.8		141.6	7.3		156.0	8.1	
0.1	2.54	1360	141.6	7.3	<b>10.4</b>	156.0	8.1	<b>11.5</b>	170.5	8.8	<b>12.5</b>

0.2	5.08	2040	185.0	9.6	<b>9.1</b>	228.4	11.8	<b>11.2</b>	257.3	13.3	<b>12.6</b>
0.3	7.62		213.9	11.1		286.2	14.8		315.1	16.3	
0.4	10.16		228.4	11.8		315.1	16.3		358.5	18.5	
0.5	12.7		242.8	12.5		329.6	17.0		387.5	20.0	

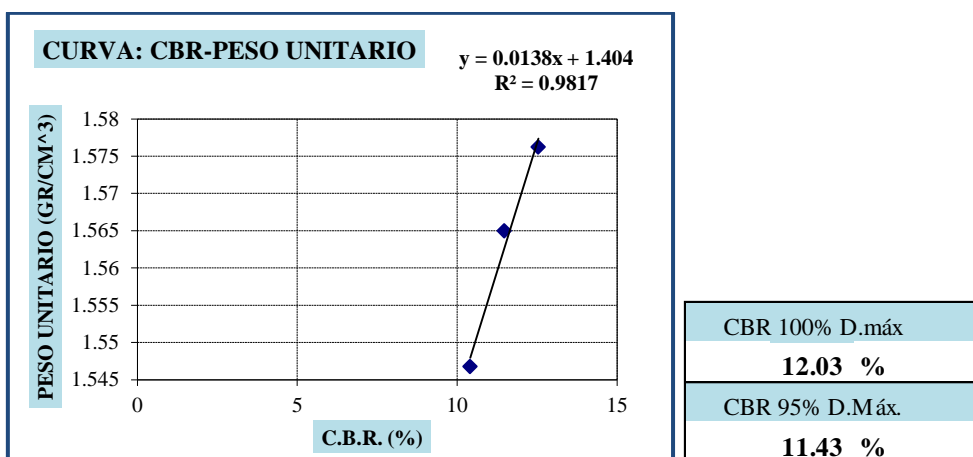
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.22. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.23. Curva CBR-Peso Unitario “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.41 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.24

*Tabla 3.41. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”*

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	89.31	0.0039	0.893100	0.000212	78.54	78.56	31.65	14.35	0.182729
2	20.00	172.08	0.0079	1.720833	0.000423	78.54	78.57	37.71	17.11	0.217716
3	30.00	211.48	0.0118	2.114833	0.000635	78.54	78.59	40.60	18.42	0.234338
4	40.00	268.52	0.0157	2.685200	0.000847	78.54	78.61	44.78	20.31	0.258414
5	50.00	290.86	0.0197	2.908600	0.001058	78.54	78.62	46.42	21.06	0.267806
6	60.00	304.42	0.0236	3.044200	0.001270	78.54	78.64	47.41	21.51	0.273482
7	80.00	336.13	0.0315	3.361333	0.001693	78.54	78.67	49.74	22.56	0.286769
8	90.00	349.53	0.0354	3.495300	0.001905	78.54	78.69	50.72	23.01	0.292369
9	100.00	354.16	0.0394	3.541633	0.002117	78.54	78.71	51.06	23.16	0.294264
10	110.00	339.67	0.0433	3.396667	0.002328	78.54	78.72	50.00	22.68	0.288079
11	120.00	324.37	0.0472	3.243667	0.002540	78.54	78.74	48.88	22.17	0.281557

*Fuente: Elaboración Propia*

*Gráfica 3.24. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”*



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.1.4. Aplicación de Geogrilla

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.42. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.43. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.44. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.25. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.26.

*Tabla 3.42. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”*

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10480		10750	10790		10970	10830		11040
Peso Molde	6560		6560	6800		6800	6920		6920
Peso muestra húmeda	3920		4190	3990		4170	3910		4120
Volumen de la muestra	2188		2188	2188		2188	2188		2188
Peso Unit. Muestra Húm.	1.792		1.915	1.824		1.906	1.787		1.883
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	40.43	41.80	49.57	42.53	45.07	45.20	53.47	38.23	36.10
Peso muestra seca + tara	37.00	38.13	43.93	38.70	40.80	40.73	50.47	35.20	33.40
Peso del agua	3.43	3.67	5.63	3.83	4.27	4.47	3.00	3.03	2.70
Peso de tara	15.03	15.13	16.77	15.83	15.87	16.63	23.07	15.53	15.33
Peso de la muestra seca	21.97	23.00	27.17	22.87	24.93	24.10	27.40	19.67	18.07
Contenido humedad %	15.63	15.94	20.74	16.76	17.11	18.53	10.95	15.42	14.94
Promedio cont. Humedad	15.786		20.736	16.938		18.534	13.186		14.945
Peso Unit.muestra seca	1.547		1.586	1.559		1.608	1.579		1.638

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.43. Valores de Expansión de “Los Chapacos”*

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
29-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30-abr	10:30	2	3.25	0.325	1.828	3.03	0.303	1.702	2.96	0.296	1.667
01-may	11:00	3	3.33	0.333	1.873	3.16	0.316	1.777	3.02	0.302	1.699
02-may	08:00	4	3.45	0.345	1.940	3.28	0.328	1.847	3.12	0.312	1.755

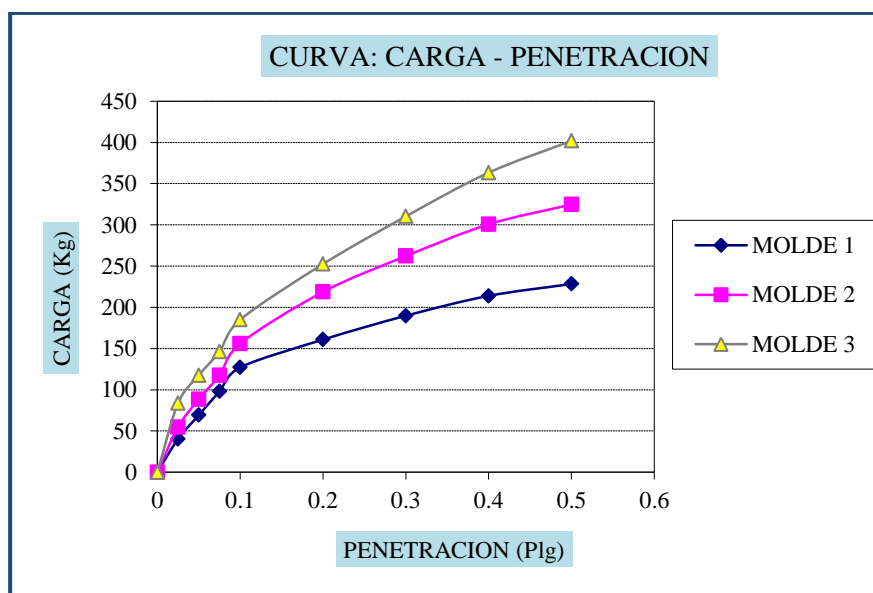
*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 3.44. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		40.3	2.1		54.8	2.8		83.7	4.3	
0.05	1.27		69.2	3.6		88.5	4.6		117.5	6.1	
0.075	1.9		98.2	5.1		117.5	6.1		146.4	7.6	
0.1	2.54	1360	127.1	6.6	<b>9.3</b>	156.0	8.1	<b>11.5</b>	185.0	9.6	<b>13.6</b>
0.2	5.08	2040	160.9	8.3	<b>7.9</b>	218.7	11.3	<b>10.7</b>	252.5	13.0	<b>12.4</b>
0.3	7.62		189.8	9.8		262.1	13.5		310.3	16.0	
0.4	10.16		213.9	11.1		300.7	15.5		363.4	18.8	
0.5	12.7		228.4	11.8		324.8	16.8		401.9	20.8	

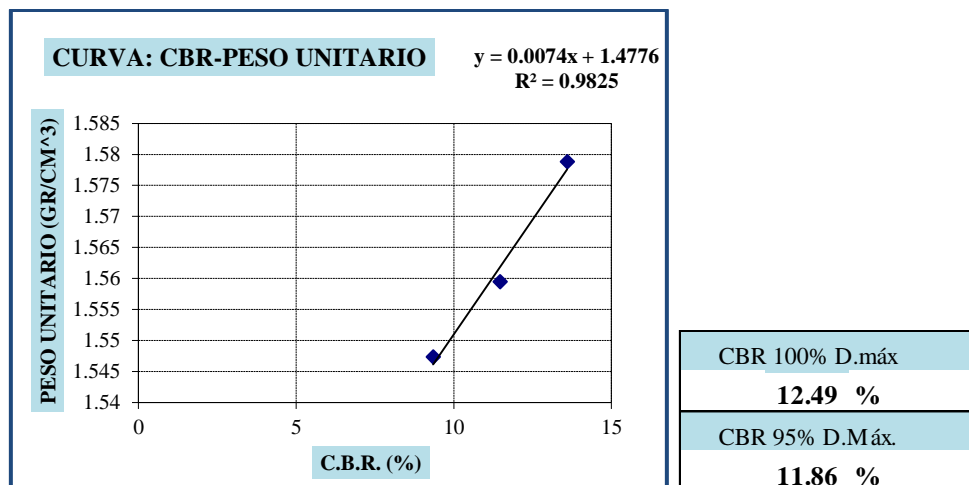
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.25. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.26. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

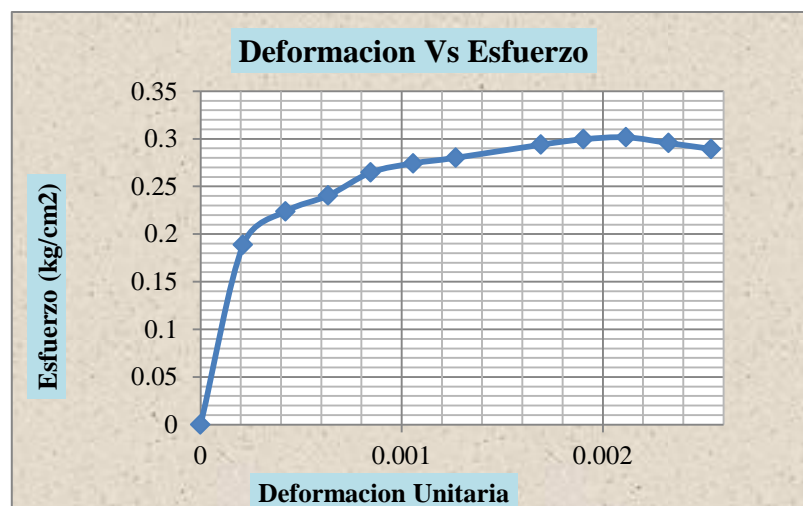
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.45 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.27

Tabla 3.45. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	103.61	0.0039	1.036100	0.000212	78.54	78.56	32.69	14.83	0.188781
2	20.00	186.51	0.0079	1.865133	0.000423	78.54	78.57	38.77	17.59	0.223822
3	30.00	226.02	0.0118	2.260233	0.000635	78.54	78.59	41.67	18.90	0.240490
4	40.00	283.41	0.0157	2.834100	0.000847	78.54	78.61	45.87	20.81	0.264712
5	50.00	306.18	0.0197	3.061800	0.001058	78.54	78.62	47.54	21.57	0.274285
6	60.00	320.07	0.0236	3.200700	0.001270	78.54	78.64	48.56	22.03	0.280099
7	80.00	352.91	0.0315	3.529133	0.001693	78.54	78.67	50.97	23.12	0.293860
8	90.00	366.51	0.0354	3.665100	0.001905	78.54	78.69	51.97	23.57	0.299543
9	100.00	371.48	0.0394	3.714833	0.002117	78.54	78.71	52.33	23.74	0.301580
10	110.00	357.32	0.0433	3.573167	0.002328	78.54	78.72	51.29	23.27	0.295533
11	120.00	342.87	0.0472	3.428667	0.002540	78.54	78.74	50.23	22.78	0.289369

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.27. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2. Aplicación de los materiales geosintéticos en la mitad del suelo subrasante “Los Chapacos”

#### 3.3.2.1. Aplicación de geotextil tejido

##### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.46. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.47. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.48. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.28. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.29.

Tabla 3.46. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”

Nº capas	5		5		5	
Nº golpes por capa	12		25		56	
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M	Antes de mojarse	D. de M
Peso muestra húm.+molde	10790	10980	10810	11020	10870	11050
Peso Molde	6740	6740	6720	6720	6750	6750
Peso muestra húmeda	4050	4240	4090	4300	4120	4300
Volumen de la muestra	2120.57	2120.57	2120.57	2120.57	2120.57	2120.57
Peso Unit. Muestra Húm.	1.910	1.999	1.929	2.028	1.943	2.028

MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1.00	2.00	3.00	1.00	2.00	3.00	1.00	2.00	3.00
Peso muestra húm + tara	194.00	191.80	156.40	154.40	157.00	140.60	121.10	122.8	121.4
Peso muestra seca + tara	164.90	162.80	127.00	132.80	134.30	115.40	106.30	106.9	101.8
Peso del agua	29.10	29.00	29.40	21.60	22.70	25.20	14.80	15.90	19.60
Peso de tara	34.20	33.10	34.20	34.90	35.30	33.80	40.10	36.80	35.70
Peso de la muestra seca	130.70	129.70	92.80	97.90	99.00	81.60	66.20	70.10	66.10
Contenido humedad %	22.26	22.36	31.68	22.06	22.93	30.88	22.36	22.68	29.65
Promedio cont. Humedad	22.312		31.681	22.496		30.882	22.519		29.652
Peso Unit.muestra seca	1.561		1.518	1.575		1.549	1.586		1.564

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.47. Valores de Expansión de “Los Chapacos”*

FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
		DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
09-may	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-may	10:30	2	5.14	0.514	2.891	4.99	0.499	2.807	4.66	0.466	2.621
11-may	11:00	3	5.18	0.518	2.913	5.02	0.502	2.823	4.78	0.478	2.688
12-may	08:00	4	5.23	0.523	2.942	5.11	0.511	2.874	4.94	0.494	2.778

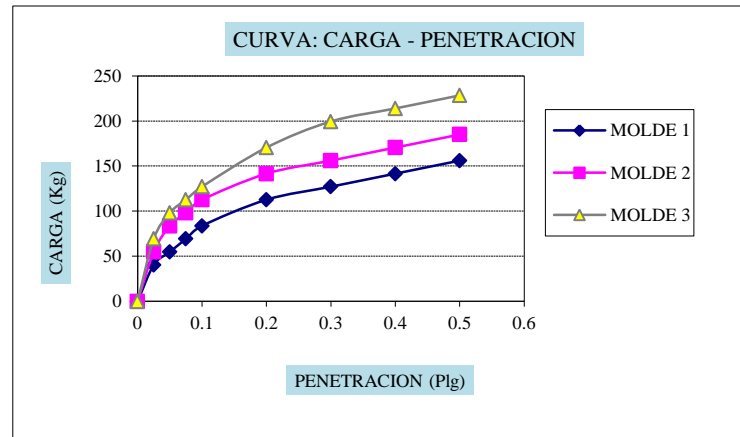
*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.48. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”*

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
Pulg.	mm	NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
		Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0	
0.025	0.63		40.3	2.1		54.8	2.8		69.2	3.6	
0.05	1.27		54.8	2.8		83.7	4.3		98.2	5.1	
0.075	1.9		69.2	3.6		98.2	5.1		112.6	5.8	
0.1	2.54	1360	83.7	4.3	<b>6.2</b>	112.6	5.8	<b>8.3</b>	127.1	6.6	<b>9.3</b>
0.2	5.08	2040	112.6	5.8	<b>5.5</b>	141.6	7.3	<b>6.9</b>	170.5	8.8	<b>8.4</b>
0.3	7.62		127.1	6.6		156.0	8.1		199.4	10.3	
0.4	10.16		141.6	7.3		170.5	8.8		213.9	11.1	
0.5	12.7		156.0	8.1		185.0	9.6		228.4	11.8	

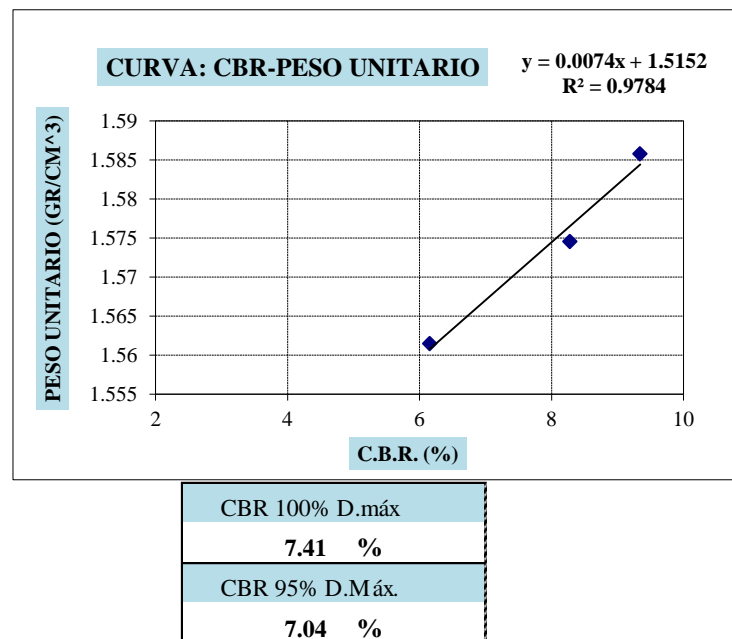
*Fuente: Elaboración Propia*

Gráfica 3.28. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.29. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

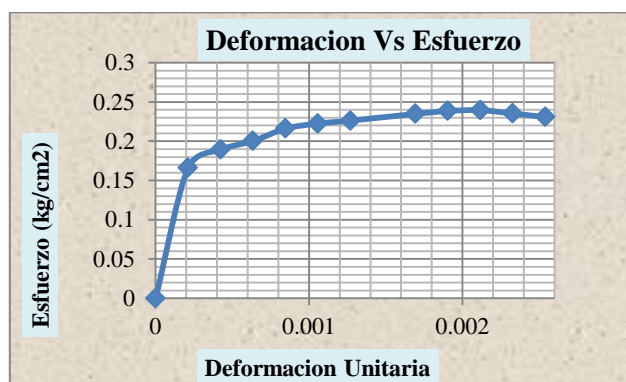
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.49 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.30

Tabla 3.49. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	49.73	0.0039	0.497333	0.000212	78.54	78.56	28.75	13.04	0.165979
2	20.00	105.03	0.0079	1.050333	0.000423	78.54	78.57	32.80	14.88	0.189344
3	30.00	131.13	0.0118	1.311333	0.000635	78.54	78.59	34.71	15.75	0.200345
4	40.00	168.47	0.0157	1.684667	0.000847	78.54	78.61	37.45	16.99	0.216094
5	50.00	183.97	0.0197	1.839667	0.001058	78.54	78.62	38.58	17.50	0.222603
6	60.00	192.77	0.0236	1.927667	0.001270	78.54	78.64	39.23	17.79	0.226276
7	80.00	213.27	0.0315	2.132667	0.001693	78.54	78.67	40.73	18.48	0.234844
8	90.00	222.07	0.0354	2.220667	0.001905	78.54	78.69	41.38	18.77	0.238512
9	100.00	224.77	0.0394	2.247667	0.002117	78.54	78.71	41.58	18.86	0.239602
10	110.00	214.77	0.0433	2.147667	0.002328	78.54	78.72	40.84	18.53	0.235328
11	120.00	204.27	0.0472	2.042667	0.002540	78.54	78.74	40.07	18.18	0.230844

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.30. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.2. Aplicación de geotextil no tejido

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.50. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.51. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.52. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.31. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.32.

Tabla 3.50. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”

N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10640		10853	10690		10900	10790		10950
Peso Molde	6773		6773	6763		6763	6823		6823
Peso muestra húmeda	3867		4080	3927		4137	3967		4127
Volumen de la muestra	2059		2059	2059		2059	2059		2059
Peso Unit. Muestra Húm.	1.878		1.981	1.907		2.009	1.926		2.004
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2° sup.	Fondo	Superf.	2° sup.	Fondo	Superf.	2° sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	203.50	182.87	157.73	184.30	191.27	154.10	184.83	197.53	138.73
Peso muestra seca + tara	171.93	155.57	134.47	156.40	162.20	132.23	156.80	167.53	119.77
Peso del agua	31.57	27.30	23.27	27.90	29.07	21.87	28.03	30.00	18.97
Peso de tara	30.67	33.03	32.67	31.73	31.90	37.03	32.43	33.20	33.97
Peso de la muestra seca	141.27	122.53	101.80	124.67	130.30	95.20	124.37	134.33	85.80
Contenido humedad %	22.35	22.28	22.86	22.38	22.31	22.97	22.54	22.33	22.11
Promedio cont. Humedad	22.313		22.855	22.344		22.969	22.437		22.106
Peso Unit.muestra seca	1.535		1.613	1.559		1.634	1.573		1.641

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.51. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”

FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
		DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
09-may	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-may	10:30	2	5.42	0.542	3.048	4.66	0.466	2.623	4.44	0.444	2.499
11-may	11:00	3	5.637	0.564	3.170	4.81	0.481	2.703	4.69	0.469	2.636
12-may	08:00	4	5.82	0.582	3.273	4.93	0.493	2.775	4.90	0.490	2.758

Fuente: Elaboración Propia

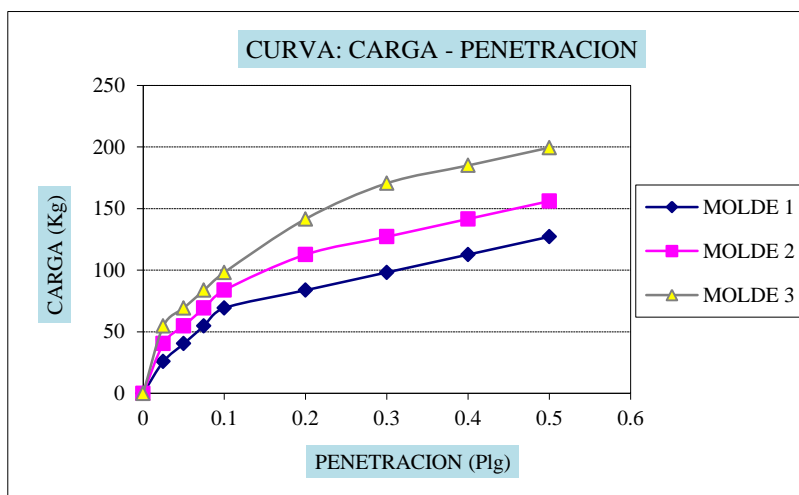
Tabla 3.52. Valores de Expansión de “Los Chapacos”

PENETRACION		CARGA NORMAL	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			CARGA ENSAYO	C.B.R. COR		CARGA ENSAYO	C.B.R. COR		CARGA ENSAYO	C.B.R. COR	
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		25.9	1.3		40.3	2.1		54.8	2.8	
0.05	1.27		40.3	2.1		54.8	2.8		69.2	3.6	

0.075	1.9		54.8	2.8		69.2	3.6		83.7	4.3	
0.1	2.54	1360	69.2	3.6	<b>5.1</b>	83.7	4.3	<b>6.2</b>	98.2	5.1	<b>7.2</b>
0.2	5.08	2040	83.7	4.3	<b>4.1</b>	112.6	5.8	<b>5.5</b>	141.6	7.3	<b>6.9</b>
0.3	7.62		98.2	5.1		127.1	6.6		170.5	8.8	
0.4	10.16		112.6	5.8		141.6	7.3		185.0	9.6	
0.5	12.7		127.1	6.6		156.0	8.1		199.4	10.3	

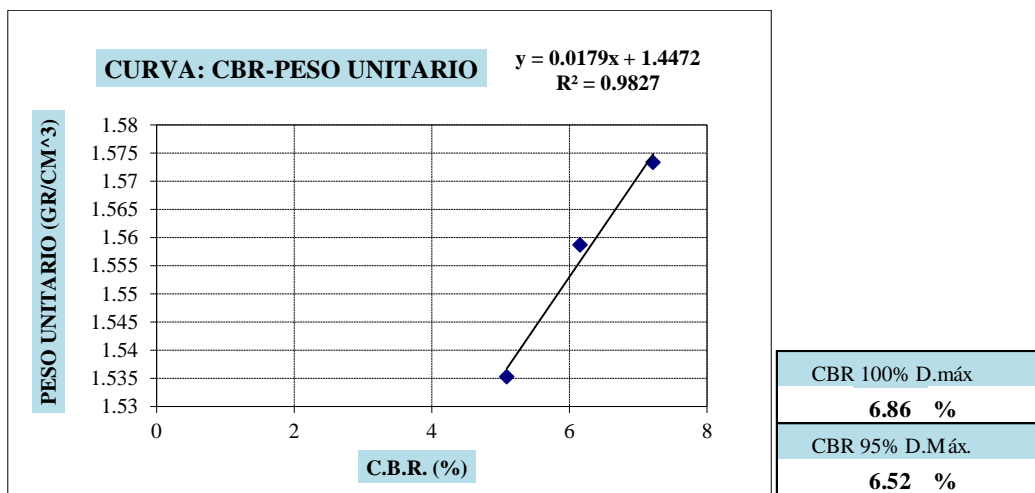
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.31. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.32. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.53 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.33

*Tabla 3.53. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”*

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	35.28	0.0039	0.352833	0.000212	78.54	78.56	27.69	12.56	0.159863
2	20.00	99.18	0.0079	0.991767	0.000423	78.54	78.57	32.37	14.68	0.186865
3	30.00	125.26	0.0118	1.252567	0.000635	78.54	78.59	34.28	15.55	0.197859
4	40.00	148.61	0.0157	1.486100	0.000847	78.54	78.61	35.99	16.33	0.207695
5	50.00	163.20	0.0197	1.632000	0.001058	78.54	78.62	37.06	16.81	0.213821
6	60.00	177.74	0.0236	1.777433	0.001270	78.54	78.64	38.13	17.29	0.219925
7	80.00	192.47	0.0315	1.924667	0.001693	78.54	78.67	39.21	17.78	0.226054
8	90.00	204.12	0.0354	2.041200	0.001905	78.54	78.69	40.06	18.17	0.230929
9	100.00	213.08	0.0394	2.130833	0.002117	78.54	78.71	40.72	18.47	0.234667
10	110.00	203.07	0.0433	2.030700	0.002328	78.54	78.72	39.99	18.14	0.230388
11	120.00	199.90	0.0472	1.999000	0.002540	78.54	78.74	39.75	18.03	0.229001

*Fuente: Elaboración Propia*

*Gráfica 3.33. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”*



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.2.3. Aplicación de geomalla biaxial

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.54. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.55. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.56. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.34. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.35.

*Tabla 3.54. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”*

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10743		10987	10790		10997	10827		11030
Peso Molde	6740		6740	6720		6720	6750		6750
Peso muestra húmeda	4003		4247	4070		4277	4077		4280
Volumen de la muestra	2121		2121	2121		2121	2121		2121
Peso Unit. Muestra Húm.	1.888		2.003	1.919		2.017	1.922		2.018
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	199.23	195.17	140.13	160.83	163.47	130.97	128.77	129.07	114.30
Peso muestra seca + tara	169.33	166.07	114.23	137.23	139.47	107.47	111.57	111.77	95.50
Peso del agua	29.90	29.10	25.90	23.60	24.00	23.50	17.20	17.30	18.80
Peso de tara	36.23	36.17	34.90	32.17	32.30	32.07	35.23	33.77	33.90
Peso de la muestra seca	133.10	129.90	79.33	105.07	107.17	75.40	76.33	78.00	61.60
Contenido humedad %	22.46	22.40	32.65	22.46	22.40	31.17	22.53	22.18	30.52
Promedio cont. Humedad	22.433		32.647	22.428		31.167	22.356		30.519
Peso Unit.muestra seca	1.542		1.510	1.568		1.538	1.571		1.546

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.55. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”*

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
			LECT.		EXPANSION	LECT.		EXPANSION	LECT.		EXPANSION
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
19-may	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-may	10:30	2	4.74	0.474	2.666	4.32	0.432	2.432	4.04	0.404	2.270
21-may	11:00	3	4.97	0.497	2.795	4.59	0.459	2.580	4.35	0.435	2.445
22-may	08:00	4	5.18	0.518	2.912	4.96	0.496	2.792	4.76	0.476	2.677

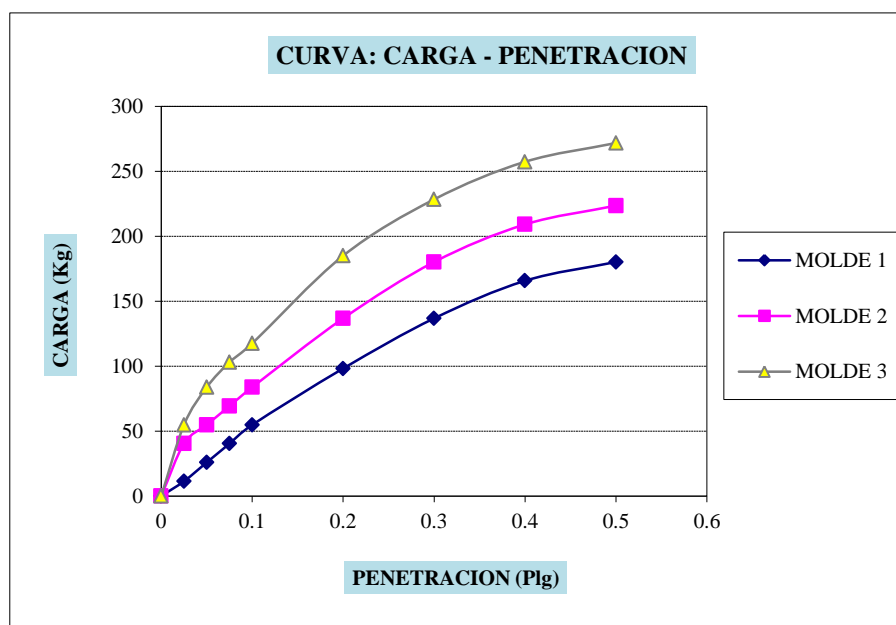
*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 3.56. Valores de Expansión de “Los Chapacos”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		11.4	0.6		40.3	2.1		54.8	2.8	
0.05	1.27		25.9	1.3		54.8	2.8		83.7	4.3	
0.075	1.9		40.3	2.1		69.2	3.6		103.0	5.3	
0.1	2.54	1360	54.8	2.8	<b>4.0</b>	83.7	4.3	<b>6.2</b>	117.5	6.1	<b>8.6</b>
0.2	5.08	2040	98.2	5.1	<b>4.8</b>	136.7	7.1	<b>6.7</b>	185.0	9.6	<b>9.1</b>
0.3	7.62		136.7	7.1		180.1	9.3		228.4	11.8	
0.4	10.16		165.7	8.6		209.1	10.8		257.3	13.3	
0.5	12.7		180.1	9.3		223.5	11.5		271.7	14.0	

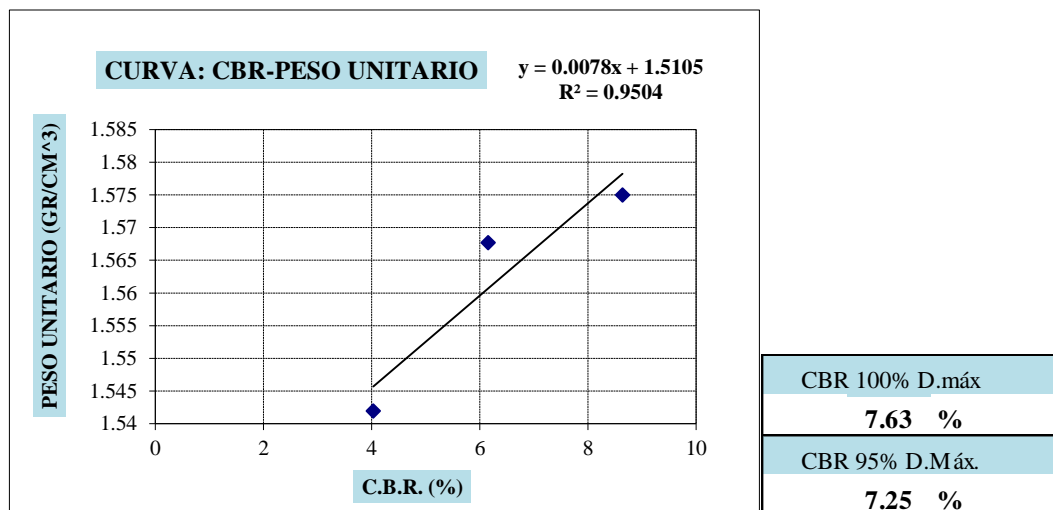
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.34. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.35. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.57 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.36

Tabla 3.57. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	59.89	0.0039	0.598933	0.000212	78.54	78.56	29.49	13.38	0.170279
2	20.00	115.07	0.0079	1.150733	0.000423	78.54	78.57	33.53	15.21	0.193592
3	30.00	141.39	0.0118	1.413867	0.000635	78.54	78.59	35.46	16.09	0.204683
4	40.00	179.46	0.0157	1.794567	0.000847	78.54	78.61	38.25	17.35	0.220742
5	50.00	194.40	0.0197	1.944033	0.001058	78.54	78.62	39.35	17.85	0.227016
6	60.00	203.50	0.0236	2.035033	0.001270	78.54	78.64	40.02	18.15	0.230816
7	80.00	224.69	0.0315	2.246900	0.001693	78.54	78.67	41.57	18.86	0.239672
8	90.00	233.67	0.0354	2.336700	0.001905	78.54	78.69	42.23	19.15	0.243415
9	100.00	236.74	0.0394	2.367400	0.002117	78.54	78.71	42.45	19.26	0.244660
10	110.00	227.08	0.0433	2.270833	0.002328	78.54	78.72	41.75	18.94	0.240530
11	120.00	216.80	0.0472	2.168000	0.002540	78.54	78.74	40.99	18.59	0.236137

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.36. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.4. Aplicación de Geogrilla

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.58. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.59. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.60. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.37. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.38.

Tabla 3.58. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Los Chapacos”

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10650		10960	11000		11217	11070		11285
Peso Molde	6787		6787	6817		6817	6853		6853
Peso muestra húmeda	3863		4173	4183		4400	4217		4432
Volumen de la muestra	2059		2059	2188		2188	2188		2188
Peso Unit. Muestra Húm.	1.876		2.027	1.912		2.011	1.927		2.025
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	42.17	43.67	51.47	44.20	46.63	46.87	54.37	40.83	37.27

Peso muestra seca + tara	38.70	40.03	45.83	40.37	42.37	42.43	51.37	37.80	34.57
Peso del agua	3.47	3.63	5.63	3.83	4.27	4.43	3.00	3.03	2.70
Peso de tara	23.20	23.57	23.60	23.27	23.30	24.13	37.80	24.23	23.17
Peso de la muestra seca	15.50	16.47	22.23	17.10	19.07	18.30	13.57	13.57	11.40
Contenido humedad %	22.37	22.06	25.34	22.42	22.38	24.23	22.11	22.36	23.68
Promedio cont. Humedad	22.215		25.337	22.397		24.226	22.236		23.684
Peso Unit.muestra seca	1.535		1.617	1.562		1.619	1.577		1.638

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.59. Cargas y valores de CBR corregidos de “Los Chapacos”*

FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
		DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
27-may	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28-may	10:30	2	4.133	0.413	2.325	4.02	0.402	2.263	3.58	0.358	2.013
29-may	11:00	3	4.27	0.427	2.402	4.11	0.411	2.313	3.89	0.389	2.188
30-may	08:00	4	4.773	0.477	2.685	4.18	0.418	2.351	4.03	0.403	2.265

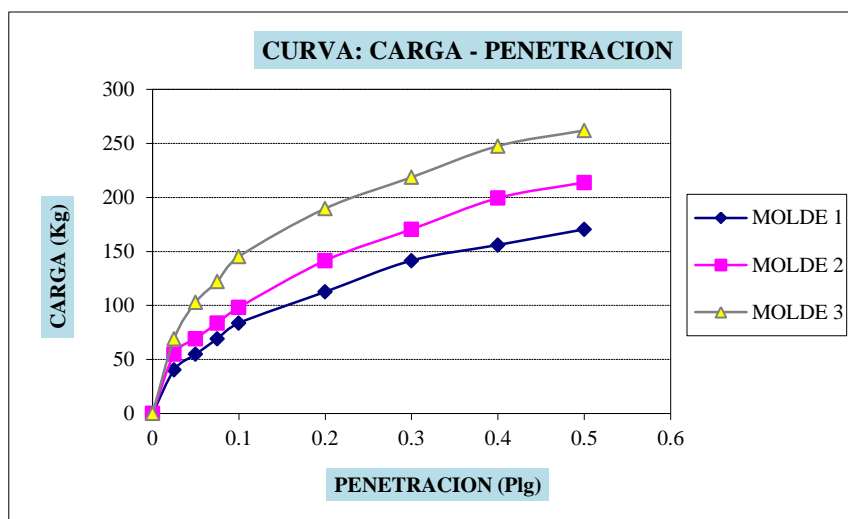
*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.60. Valores de Expansión de “Los Chapacos”*

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
Pulg.	mm	NORMAL Kg	CARGA ENSAYO Kg	ENSAYO Kg/cm2	C.B.R. COR %	CARGA ENSAYO Kg	ENSAYO Kg/cm2	C.B.R. COR %	CARGA ENSAYO Kg	ENSAYO Kg/cm2	C.B.R. COR %
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		40.3	2.1		54.8	2.8		69.2	3.6	
0.05	1.27		54.8	2.8		69.2	3.6		103.0	5.3	
0.075	1.9		69.2	3.6		83.7	4.3		122.3	6.3	
0.1	2.54	1360	83.7	4.3	<b>6.2</b>	98.2	5.1	<b>7.2</b>	145.2	7.6	<b>8.3</b>
0.2	5.08	2040	112.6	5.8	<b>5.5</b>	141.6	7.3	<b>6.9</b>	189.8	9.8	<b>9.3</b>
0.3	7.62		141.6	7.3		170.5	8.8		218.7	11.3	
0.4	10.16		156.0	8.1		199.4	10.3		247.6	12.8	
0.5	12.7		170.5	8.8		213.9	11.1		262.1	13.5	

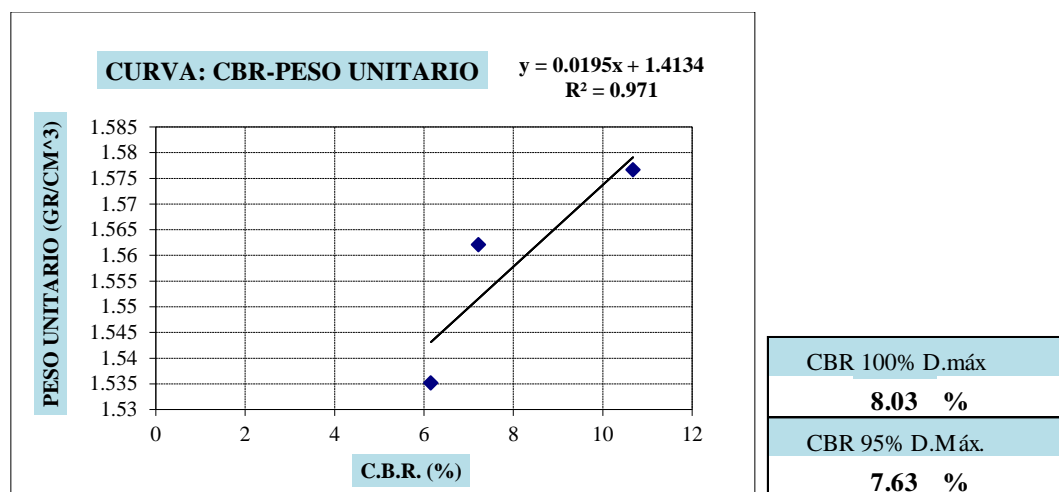
*Fuente: Elaboración Propia*

Gráfica 3.37. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.38. Curva de Carga Penetración “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

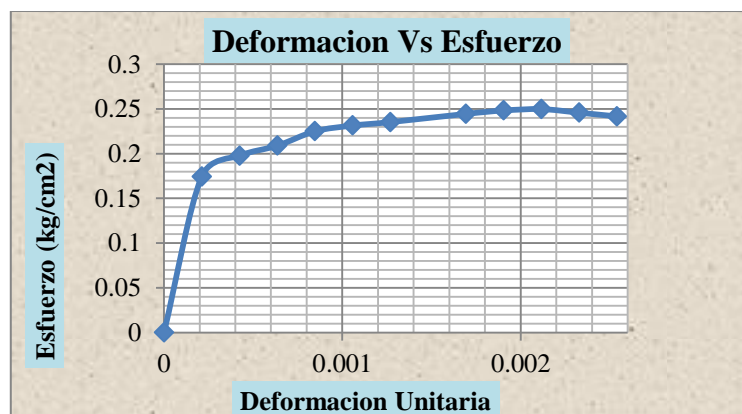
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.61 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.39

Tabla 3.61. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Los Chapacos”

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	78.54	78.54	0.00	0.00	0.00
1	10.00	69.37	0.0039	0.693733	0.000212	78.54	78.56	30.19	13.69	0.174291
2	20.00	124.76	0.0079	1.247600	0.000423	78.54	78.57	34.24	15.53	0.197691
3	30.00	151.21	0.0118	1.512133	0.000635	78.54	78.59	36.18	16.41	0.208841
4	40.00	189.53	0.0157	1.895300	0.000847	78.54	78.61	38.99	17.69	0.225003
5	50.00	204.68	0.0197	2.046767	0.001058	78.54	78.62	40.10	18.19	0.231361
6	60.00	213.98	0.0236	2.139833	0.001270	78.54	78.64	40.78	18.50	0.235247
7	80.00	235.95	0.0315	2.359500	0.001693	78.54	78.67	42.40	19.23	0.244430
8	90.00	245.07	0.0354	2.450700	0.001905	78.54	78.69	43.06	19.53	0.248232
9	100.00	248.78	0.0394	2.487800	0.002117	78.54	78.71	43.34	19.66	0.249746
10	110.00	239.37	0.0433	2.393700	0.002328	78.54	78.72	42.65	19.34	0.245719
11	120.00	229.77	0.0472	2.297667	0.002540	78.54	78.74	41.94	19.02	0.241612

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.39. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3. Aplicación de los materiales geosintéticos en la superficie del suelo subrasante “Av. Panamericana”

#### 3.3.3.1. Aplicación de geotextil tejido

a. **CBR.-** El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.62. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.64. y las cargas y los valores

de CBR corregido en la Tabla 3.66. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.40. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.41.

*Tabla 3.62. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana*

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10897		11355	11340		11765	11525		11875
Peso Molde	6393		6393	6781		6781	6842		6842
Peso muestra húmeda	4504		4962	4559		4984	4683		5033
Volumen de la muestra	2189		2188.82	2189		2188.82	2208		2207.69
Peso Unit. Muestra Húm.	2.058		2.267	2.083		2.277	2.121		2.280
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	167.83	166.87	147.97	175.43	124.60	159.93	171.50	155.30	149.07
Peso muestra seca + tara	148.77	147.87	123.00	155.27	112.33	135.27	151.90	138.67	128.47
Peso del agua	19.07	19.00	24.97	20.17	12.27	24.67	19.60	16.63	20.60
Peso de tara	33.94	34.08	32.47	34.17	37.47	39.57	34.28	35.97	35.77
Peso de la muestra seca	114.83	113.79	90.53	121.10	74.87	95.70	117.62	102.70	92.70
Contenido humedad %	16.60	16.70	27.58	16.65	16.38	25.77	16.66	16.20	22.22
Promedio cont. Humedad	16.651		27.577	16.519		25.775	16.430		22.222
Peso Unit.muestra seca	1.764		1.777	1.788		1.811	1.822		1.865

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.63. Valores de Expansión de “Av. Panamericana”*

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
07-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-abr	10:30	2	3.617	0.362	2.034	3.423	0.342	1.925	3.337	0.334	1.877
09-abr	11:00	3	3.883	0.388	2.184	3.627	0.363	2.040	3.517	0.352	1.978
10-abr	08:00	4	4.010	0.401	2.255	3.920	0.392	2.205	3.680	0.368	2.070

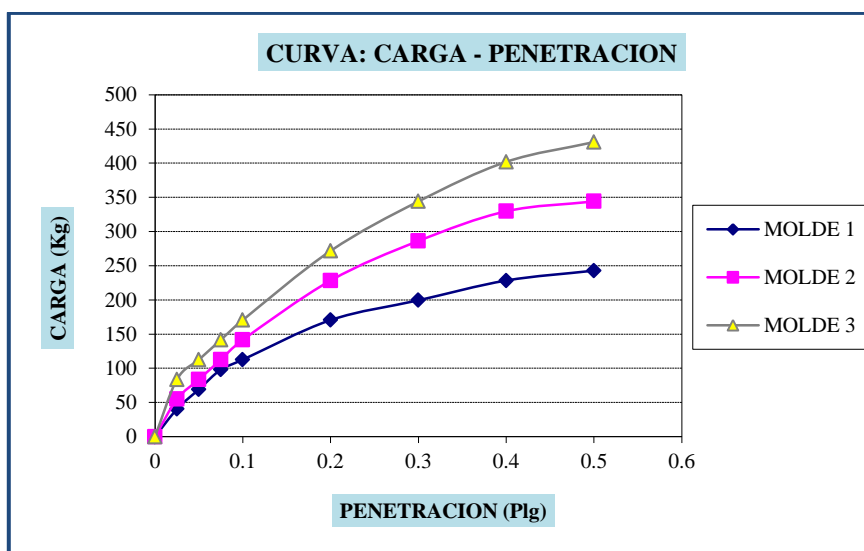
*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 3.64. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		40.3	2.1		54.8	2.8		83.7	4.3	
0.05	1.27		69.2	3.6		83.7	4.3		112.6	5.8	
0.075	1.9		98.2	5.1		112.6	5.8		141.6	7.3	
0.1	2.54	1360	112.6	5.8	<b>8.3</b>	141.6	7.3	<b>10.4</b>	170.5	8.8	<b>12.5</b>
0.2	5.08	2040	170.5	8.8	<b>8.4</b>	228.4	11.8	<b>11.2</b>	271.7	14.0	<b>13.3</b>
0.3	7.62		199.4	10.3		286.2	14.8		344.1	17.8	
0.4	10.16		228.4	11.8		329.6	17.0		401.9	20.8	
0.5	12.7		242.8	12.5		344.1	17.8		430.9	22.3	

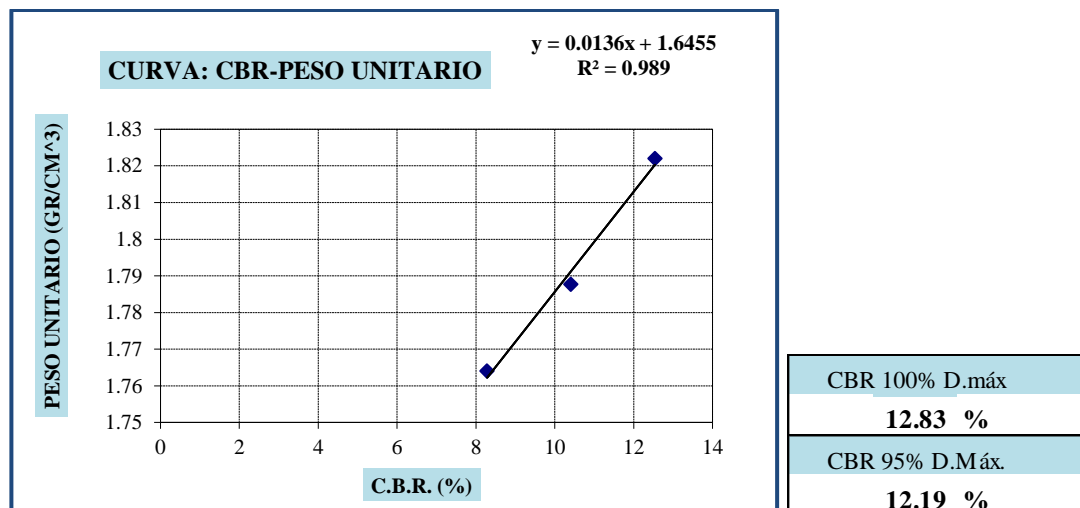
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.40. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.41. Curva CBR-Peso Unitario “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

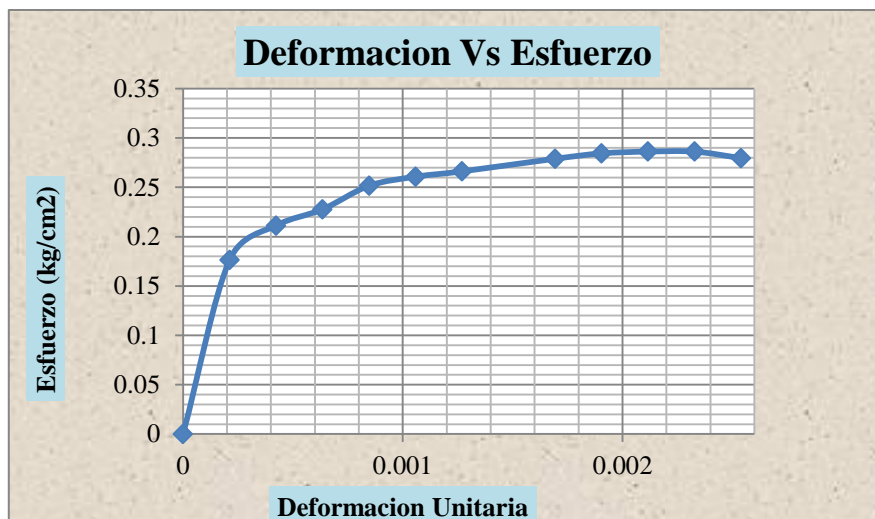
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.65 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.42

Tabla 3.65. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	84.75	0.0039	0.739500	0.000212	78.54	78.56	30.52	13.84	0.176228
2	20.00	168.10	0.0079	1.566000	0.000423	78.54	78.57	36.58	16.59	0.211164
3	30.00	207.65	0.0118	1.957500	0.000635	78.54	78.59	39.45	17.89	0.227682
4	40.00	263.90	0.0157	2.523000	0.000847	78.54	78.61	43.59	19.77	0.251553
5	50.00	287.75	0.0197	2.740500	0.001058	78.54	78.62	45.19	20.50	0.260697
6	60.00	304.00	0.0236	2.871000	0.001270	78.54	78.64	46.14	20.93	0.266160
7	80.00	331.45	0.0315	3.175500	0.001693	78.54	78.67	48.38	21.94	0.278915
8	90.00	343.60	0.0354	3.306000	0.001905	78.54	78.69	49.33	22.38	0.284370
9	100.00	349.85	0.0394	3.349500	0.002117	78.54	78.71	49.65	22.52	0.286147
10	110.00	335.10	0.0433	3.351000	0.002328	78.54	78.72	49.66	22.53	0.286150
11	120.00	319.70	0.0472	3.197000	0.002540	78.54	78.74	48.53	22.01	0.279587

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.42. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3.2. Aplicación de geotextil no tejido

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.66. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.67. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.68. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.43. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.44.

Tabla 3.66. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana”

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M	
Peso muestra húm.+molde	12137	12590		12543	12983		12607	13010	
Peso Molde	7717	7717		7990	7990		8000	8000	
Peso muestra húmeda	4420	4873		4553	4993		4607	5010	
Volumen de la muestra	2118	2118		2165	2165		2165	2165	
Peso Unit. Muestra Húm.	2.087	2.301		2.103	2.306		2.128	2.314	
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	60.03	41.63	66.40	58.93	61.03	63.53	61.77	57.53	57.10

Peso muestra seca + tara	54.80	38.53	56.83	54.73	55.43	54.67	56.13	52.33	50.40
Peso del agua	5.23	3.10	9.57	4.20	5.60	8.87	5.63	5.20	6.70
Peso de tara	22.87	21.23	22.87	29.77	21.43	20.93	21.47	21.43	20.90
Peso de la muestra seca	31.93	17.30	33.97	24.97	34.00	33.73	34.67	30.90	29.50
Contenido humedad %	16.39	17.92	28.16	16.82	16.47	26.28	16.25	16.83	22.71
Promedio cont. Humedad	17.154		28.165	16.647		26.285	16.539		22.712
Peso Unit.muestra seca	1.781		1.795	1.803		1.826	1.826		1.886

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.67. Valores de Expansión de “Av. Panamericana”*

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
11-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-abr	10:30	2	3.857	0.386	2.169	3.66	0.366	2.058	3.26	0.326	1.832
13-abr	11:00	3	3.91	0.391	2.199	3.79	0.379	2.130	3.66	0.366	2.057
14-abr	08:00	4	4.12	0.412	2.317	4.01	0.401	2.253	3.88	0.388	2.180

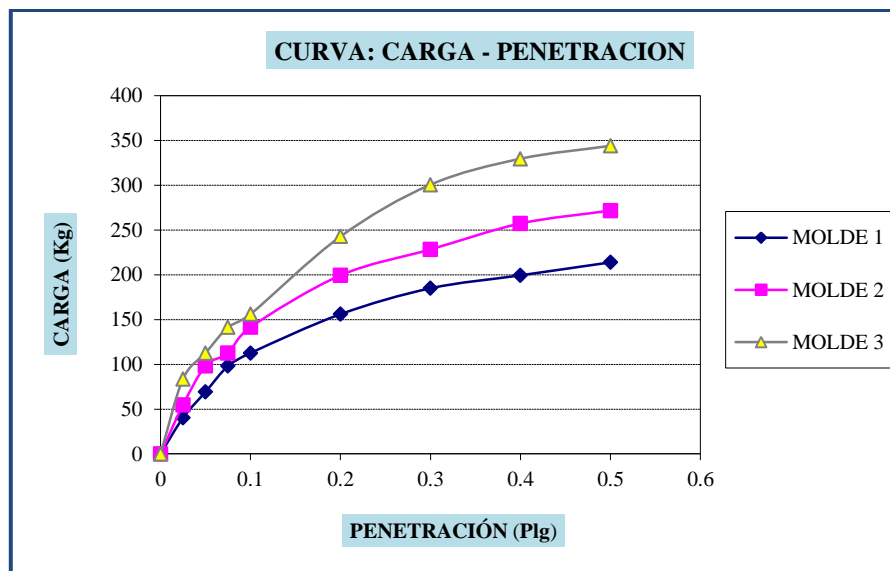
*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.68. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”*

PENETRACION		CARGA NORMAL Kg	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		C.B.R. COR
			CARGA ENSAYO Kg	Kg/cm2	%	CARGA ENSAYO Kg	Kg/cm2	%	CARGA ENSAYO Kg	Kg/cm2	
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		40.3	2.1		54.8	2.8		83.7	4.3	
0.05	1.27		69.2	3.6		98.2	5.1		112.6	5.8	
0.075	1.9		98.2	5.1		112.6	5.8		141.6	7.3	
0.1	2.54	1360	112.6	5.8	<b>8.3</b>	141.6	7.3	<b>10.4</b>	156.0	8.1	<b>11.5</b>
0.2	5.08	2040	156.0	8.1	<b>7.6</b>	199.4	10.3	<b>9.8</b>	242.8	12.5	<b>11.9</b>
0.3	7.62		185.0	9.6		228.4	11.8		300.7	15.5	
0.4	10.16		199.4	10.3		257.3	13.3		329.6	17.0	
0.5	12.7		213.9	11.1		271.7	14.0		344.1	17.8	

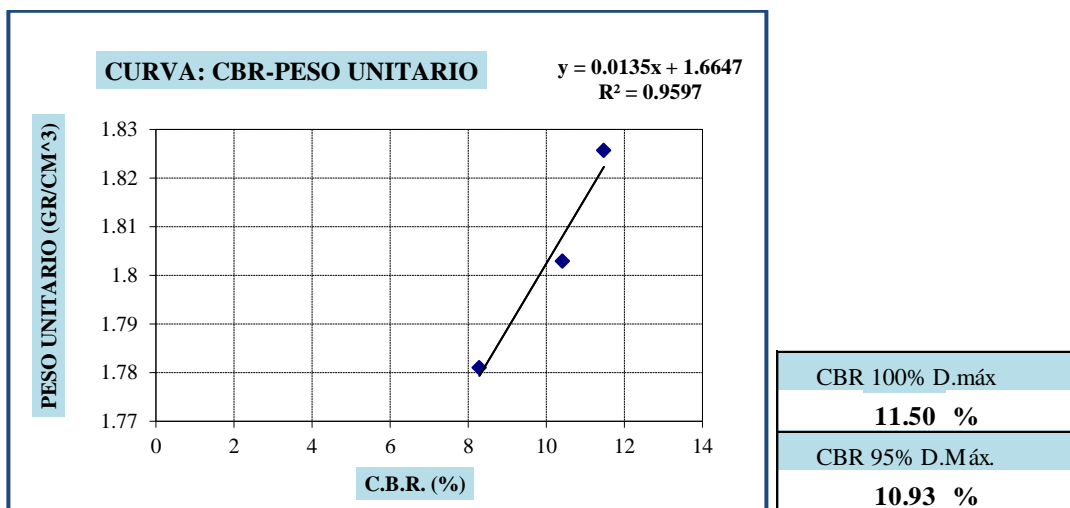
*Fuente: Elaboración Propia*

Gráfica 3.43. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.44. Curva CBR-Peso Unitario “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

**b. Compresión simple**

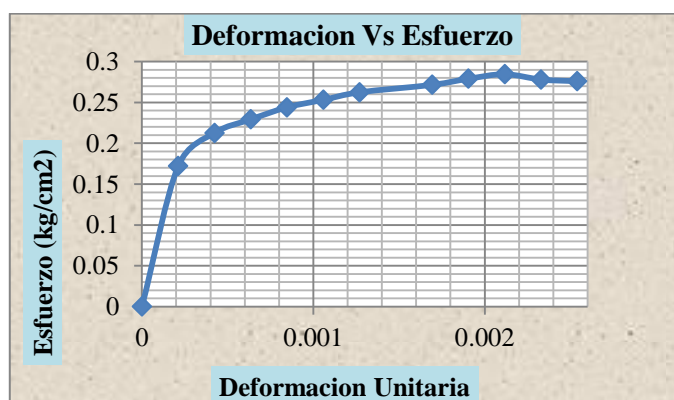
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.69 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.45

Tabla 3.69. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	64.31	0.0039	0.643067	0.000212	78.54	78.56	29.81	13.52	0.172147
2	20.00	160.18	0.0079	1.601767	0.000423	78.54	78.57	36.84	16.71	0.212678
3	30.00	199.56	0.0118	1.995633	0.000635	78.54	78.59	39.73	18.02	0.229296
4	40.00	234.52	0.0157	2.345233	0.000847	78.54	78.61	42.29	19.18	0.244034
5	50.00	256.33	0.0197	2.563333	0.001058	78.54	78.62	43.89	19.91	0.253205
6	60.00	278.26	0.0236	2.782600	0.001270	78.54	78.64	45.50	20.64	0.262422
7	80.00	300.18	0.0315	3.001767	0.001693	78.54	78.67	47.10	21.37	0.271573
8	90.00	317.87	0.0354	3.178667	0.001905	78.54	78.69	48.40	21.95	0.278990
9	100.00	331.24	0.0394	3.312400	0.002117	78.54	78.71	49.38	22.40	0.284580
10	110.00	315.87	0.0433	3.158733	0.002328	78.54	78.72	48.25	21.89	0.278030
11	120.00	311.05	0.0472	3.110533	0.002540	78.54	78.74	47.90	21.73	0.275936

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.45. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3.3. Aplicación de geomalla biaxial

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.70. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.71. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.72. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.46. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.47.

Tabla 3.70. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana”

N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10960		11260	11400		11610	11560		11807
Peso Molde	6393		6393	6744		6744	6842		6842
Peso muestra húmeda	4567		4867	4656		4866	4718		4965
Volumen de la muestra	2189		2189	2189		2189	2208		2208
Peso Unit. Muestra Húm.	2.087		2.224	2.127		2.223	2.137		2.249
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	159.73	145.80	149.97	164.83	165.27	140.27	180.63	128.47	152.07
Peso muestra seca + tara	142.47	130.33	130.07	146.63	147.00	121.37	160.43	116.27	132.87
Peso del agua	17.27	15.47	19.90	18.20	18.27	18.90	20.20	12.20	19.20
Peso de tara	37.07	37.60	41.00	35.33	35.64	33.10	35.98	41.57	39.90
Peso de la muestra seca	105.40	92.73	89.07	111.30	111.36	88.27	124.46	74.70	92.97
Contenido humedad %	16.38	16.68	22.34	16.35	16.40	21.41	16.23	16.33	20.65
Promedio cont. Humedad	16.530		22.343	16.378		21.412	16.281		20.653
Peso Unit.muestra seca	1.791		1.818	1.828		1.831	1.838		1.864

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.71. Valores de Expansión de “Av. Panamericana”

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
21-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-abr	10:30	2	3.42	0.342	1.924	3.13	0.313	1.759	2.97	0.297	1.670
23-abr	11:00	3	3.66	0.366	2.058	3.48	0.348	1.955	3.21	0.321	1.805
24-abr	08:00	4	3.81	0.381	2.143	3.61	0.361	2.028	3.42	0.342	1.922

Fuente: Elaboración Propia

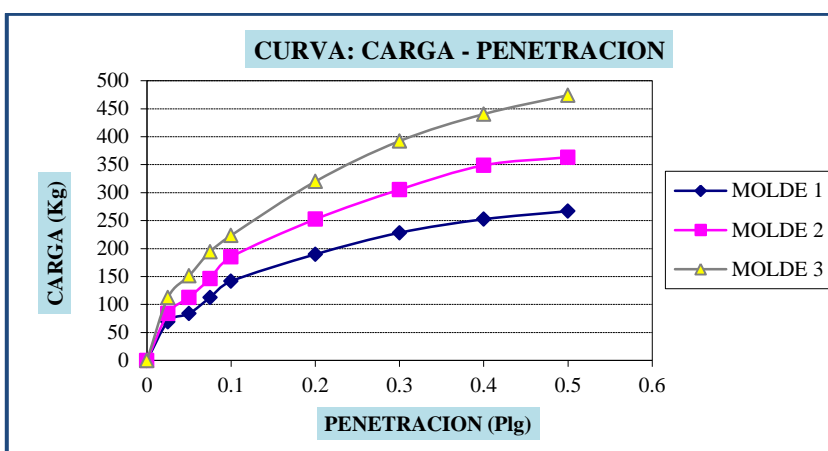
Tabla 3.72. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		69.2	3.6		83.7	4.3		112.6	5.8	

0.05	1.27		83.7	4.3		112.6	5.8		151.2	7.8	
0.075	1.9		112.6	5.8		146.4	7.6		194.6	10.1	
0.1	2.54	1360	141.6	7.3	<b>10.4</b>	185.0	9.6	<b>13.6</b>	223.5	11.5	<b>16.4</b>
0.2	5.08	2040	189.8	9.8	<b>9.3</b>	252.5	13.0	<b>12.4</b>	320.0	16.5	<b>15.7</b>
0.3	7.62		228.4	11.8		305.5	15.8		392.3	20.3	
0.4	10.16		252.5	13.0		348.9	18.0		440.5	22.8	
0.5	12.7		266.9	13.8		363.4	18.8		474.2	24.5	

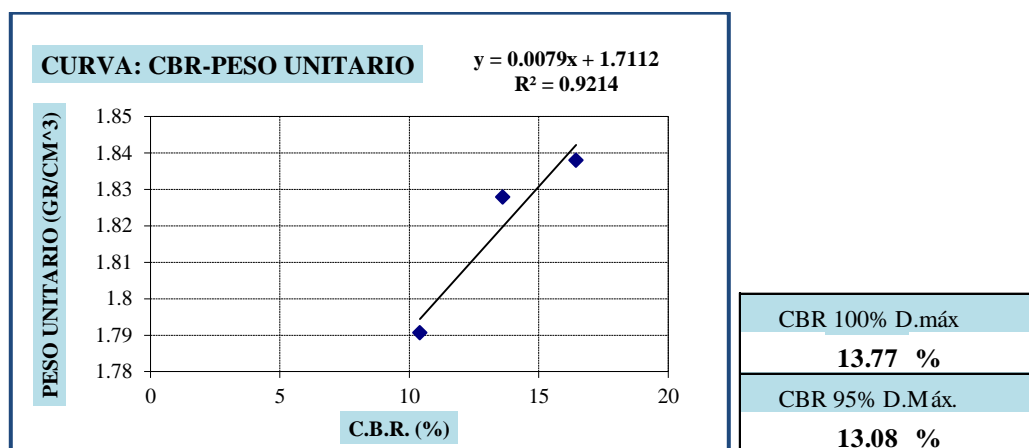
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.46. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.47. Curva CBR-Peso Unitario “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

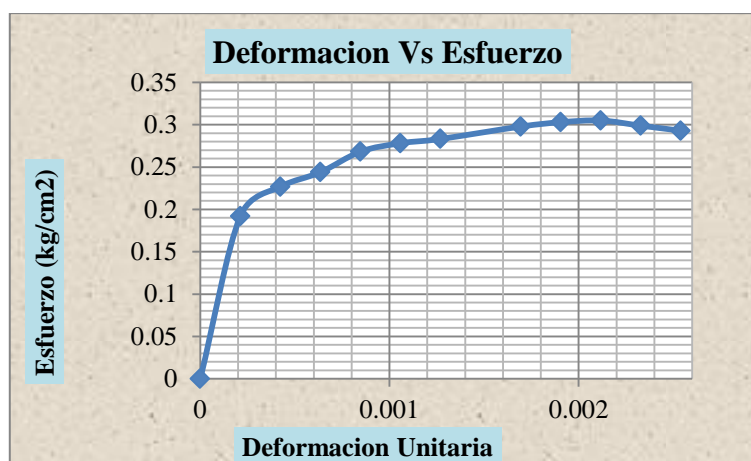
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.73 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.48

*Tabla 3.73. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”*

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	111.26	0.0039	1.112567	0.000212	78.54	78.56	33.26	15.08	0.192018
2	20.00	193.31	0.0079	1.933067	0.000423	78.54	78.57	39.27	17.81	0.226697
3	30.00	233.90	0.0118	2.339033	0.000635	78.54	78.59	42.25	19.16	0.243823
4	40.00	291.76	0.0157	2.917633	0.000847	78.54	78.61	46.49	21.09	0.268245
5	50.00	315.15	0.0197	3.151533	0.001058	78.54	78.62	48.20	21.86	0.278079
6	60.00	327.41	0.0236	3.274100	0.001270	78.54	78.64	49.10	22.27	0.283202
7	80.00	362.21	0.0315	3.622067	0.001693	78.54	78.67	51.65	23.43	0.297788
8	90.00	374.55	0.0354	3.745467	0.001905	78.54	78.69	52.55	23.84	0.302939
9	100.00	379.56	0.0394	3.795600	0.002117	78.54	78.71	52.92	24.00	0.304992
10	110.00	365.22	0.0433	3.652233	0.002328	78.54	78.72	51.87	23.53	0.298873
11	120.00	351.25	0.0472	3.512533	0.002540	78.54	78.74	50.85	23.06	0.292910

*Fuente: Elaboración Propia*

*Gráfica 3.48. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo*



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.3.4. Aplicación de Geogrilla

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.74. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.75. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.76. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.49. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.50.

*Tabla 3.74. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana”*

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	10950		11250	11056		11290	11080		11310
Peso Molde	6663		6663	6687		6687	6683		6683
Peso muestra húmeda	4287		4587	4369		4603	4397		4627
Volumen de la muestra	2059		2059	2059		2059	2059		2059
Peso Unit. Muestra Húm.	2.082		2.227	2.122		2.236	2.135		2.247
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	169.50	164.30	187.53	167.90	163.03	196.13	171.83	171.40	200.63
Peso muestra seca + tara	150.20	145.73	159.00	148.70	144.80	167.93	153.50	153.63	173.07
Peso del agua	19.30	18.57	28.53	19.20	18.23	28.20	18.33	17.77	27.57
Peso de tara	32.73	32.80	32.20	32.03	32.70	35.37	40.63	44.37	37.40
Peso de la muestra seca	117.47	112.93	126.80	116.67	112.10	132.57	112.87	109.27	135.67
Contenido humedad %	16.43	16.44	22.50	16.46	16.27	21.27	16.24	16.26	20.32
Promedio cont. Humedad	16.435		22.503	16.361		21.272	16.252		20.319
Peso Unit.muestra seca	1.788		1.818	1.824		1.843	1.837		1.867

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.75. Valores de Expansión de “Av. Panamericana*

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
29-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30-abr	10:30	2	3.22	0.322	1.811	3.01	0.301	1.693	2.71	0.271	1.522
01-may	11:00	3	3.33	0.333	1.873	3.13	0.313	1.760	2.81	0.281	1.579
02-may	08:00	4	3.447	0.345	1.939	3.31	0.331	1.864	3.02	0.302	1.697

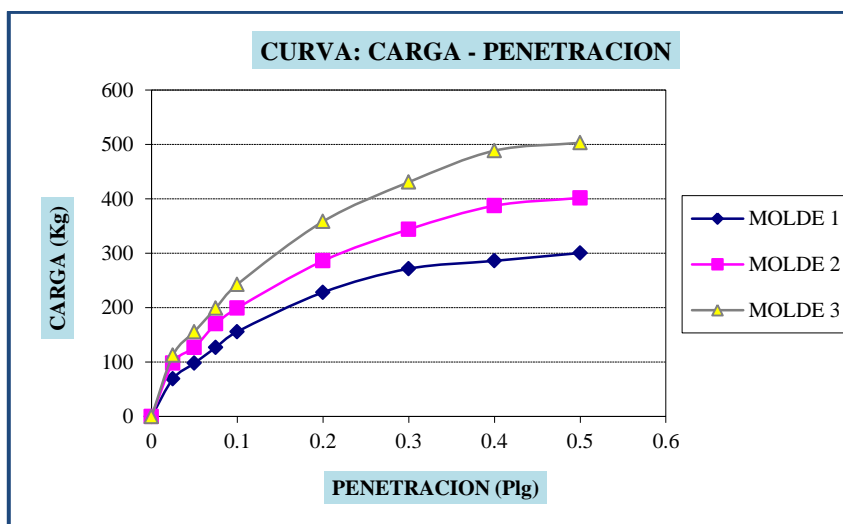
*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 3.76. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		69.2	3.6		98.2	5.1		112.6	5.8	
0.05	1.27		98.2	5.1		127.1	6.6		156.0	8.1	
0.075	1.9		127.1	6.6		170.5	8.8		199.4	10.3	
0.1	2.54	1360	156.0	8.1	<b>11.5</b>	199.4	10.3	<b>14.7</b>	242.8	12.5	<b>17.9</b>
0.2	5.08	2040	228.4	11.8	<b>11.2</b>	286.2	14.8	<b>14.0</b>	358.5	18.5	<b>17.6</b>
0.3	7.62		271.7	14.0		344.1	17.8		430.9	22.3	
0.4	10.16		286.2	14.8		387.5	20.0		488.7	25.3	
0.5	12.7		300.7	15.5		401.9	20.8		503.2	26.0	

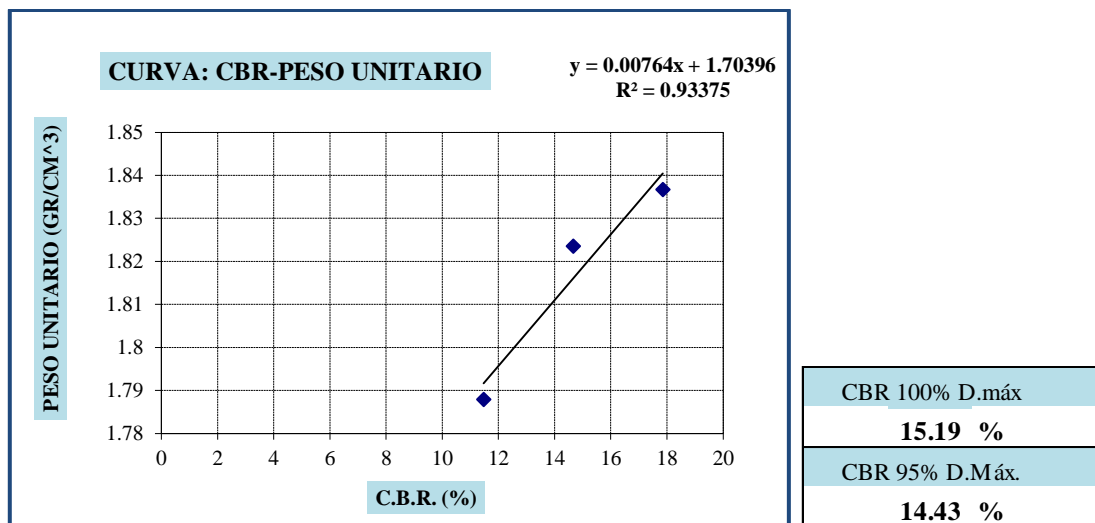
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.49. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.50. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.77 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.51

Tabla 3.77. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	119.86	0.0039	1.198633	0.000212	78.54	78.56	33.89	15.37	0.195660
2	20.00	202.11	0.0079	2.021133	0.000423	78.54	78.57	39.91	18.11	0.230423
3	30.00	242.75	0.0118	2.427467	0.000635	78.54	78.59	42.89	19.46	0.247565
4	40.00	300.72	0.0157	3.007233	0.000847	78.54	78.61	47.14	21.38	0.272035
5	50.00	324.18	0.0197	3.241800	0.001058	78.54	78.62	48.86	22.16	0.281897
6	60.00	336.72	0.0236	3.367233	0.001270	78.54	78.64	49.78	22.58	0.287140
7	80.00	371.90	0.0315	3.719033	0.001693	78.54	78.67	52.36	23.75	0.301886
8	90.00	384.75	0.0354	3.847500	0.001905	78.54	78.69	53.30	24.18	0.307250
9	100.00	390.09	0.0394	3.900867	0.002117	78.54	78.71	53.69	24.35	0.309439
10	110.00	375.83	0.0433	3.758300	0.002328	78.54	78.72	52.65	23.88	0.303352
11	120.00	361.82	0.0472	3.618200	0.002540	78.54	78.74	51.62	23.42	0.297372

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.51. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Av. Panamericana



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4. Aplicación de los materiales geosintéticos en la mitad del suelo subrasante “Av. Panamericana”

#### 3.3.4.1. Aplicación de geotextil tejido

##### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.78. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.79. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.80. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.52. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.53.

Tabla 3.78. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana”

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M	
Peso muestra húm.+molde	10460	10950		11390	11840		11880	12230	
Peso Molde	5908	5908		6812	6812		7185	7185	
Peso muestra húmeda	4552	5042		4578	5028		4695	5045	
Volumen de la muestra	2189	2188.82		2189	2188.82		2208	2207.69	
Peso Unit. Muestra Húm.	2.080	2.304		2.092	2.297		2.127	2.285	
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3

Peso muestra húm + tara	167.77	166.07	147.57	174.67	123.97	159.60	170.60	154.47	148.77
Peso muestra seca + tara	148.53	147.20	122.47	154.57	111.70	134.47	151.37	137.77	128.40
Peso del agua	19.23	18.87	25.10	20.10	12.27	25.13	19.23	16.70	20.37
Peso de tara	33.31	33.38	31.90	33.47	36.83	36.70	34.30	35.30	36.63
Peso de la muestra seca	115.23	113.82	90.57	121.10	74.87	97.77	117.07	102.47	91.77
Contenido humedad %	16.69	16.58	27.71	16.60	16.38	25.71	16.43	16.30	22.19
Promedio cont. Humedad	16.634		27.714	16.491		25.707	16.364		22.194
Peso Unit.muestra seca	1.783		1.804	1.795		1.827	1.828		1.870

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.79. Valores de Expansión de “Av. Panamericana”*

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
07-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-abr	10:30	2	4.657	0.466	2.619	4.457	0.446	2.507	4.377	0.438	2.462
09-abr	11:00	3	4.890	0.489	2.750	4.663	0.466	2.623	4.560	0.456	2.565
10-abr	08:00	4	5.070	0.507	2.852	4.987	0.499	2.805	4.697	0.470	2.642

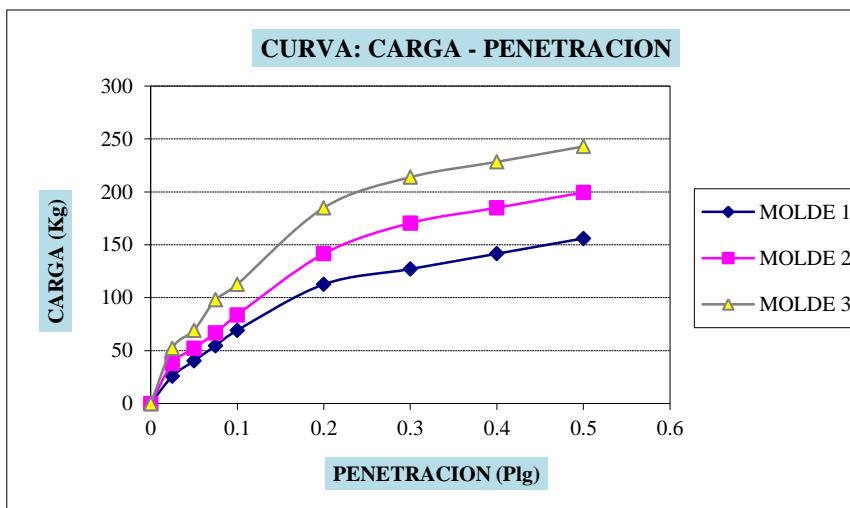
*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.80. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”*

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
Pulg.	mm	NORMAL Kg	CARGA ENSAYO Kg	C.B.R. COR Kg/cm2	%	CARGA ENSAYO Kg	C.B.R. COR Kg/cm2	%	CARGA ENSAYO Kg	C.B.R. COR Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		25.9	1.3		37.9	2.0		52.4	2.7	
0.05	1.27		40.3	2.1		52.4	2.7		69.2	3.6	
0.075	1.9		54.8	2.8		66.8	3.5		98.2	5.1	
0.1	2.54	1360	69.2	3.6	<b>5.1</b>	83.7	4.3	<b>6.2</b>	112.6	5.8	<b>8.3</b>
0.2	5.08	2040	112.6	5.8	<b>5.5</b>	141.6	7.3	<b>6.9</b>	185.0	9.6	<b>9.1</b>
0.3	7.62		127.1	6.6		170.5	8.8		213.9	11.1	
0.4	10.16		141.6	7.3		185.0	9.6		228.4	11.8	
0.5	12.7		156.0	8.1		199.4	10.3		242.8	12.5	

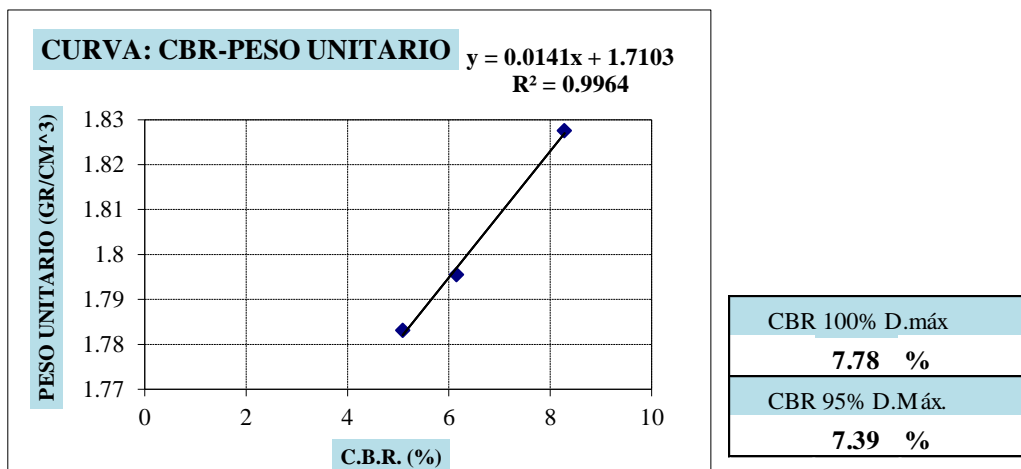
*Fuente: Elaboración Propia*

Gráfica 3.52. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.53. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

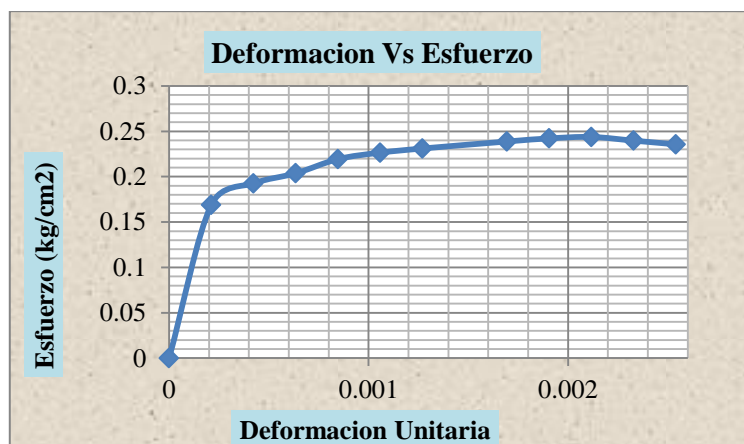
**b. Compresión simple**

Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.81 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.54

Tabla 3.81. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	56.93	0.0039	0.569333	0.000212	78.54	78.56	29.27	13.28	0.169026
2	20.00	112.70	0.0079	1.127000	0.000423	78.54	78.57	33.36	15.13	0.192588
3	30.00	139.07	0.0118	1.390667	0.000635	78.54	78.59	35.29	16.01	0.203702
4	40.00	176.20	0.0157	1.762000	0.000847	78.54	78.61	38.02	17.24	0.219365
5	50.00	193.10	0.0197	1.931000	0.001058	78.54	78.62	39.25	17.81	0.226465
6	60.00	204.03	0.0236	2.040333	0.001270	78.54	78.64	40.06	18.17	0.231040
7	80.00	222.53	0.0315	2.225333	0.001693	78.54	78.67	41.41	18.78	0.238760
8	90.00	230.73	0.0354	2.307333	0.001905	78.54	78.69	42.01	19.06	0.242174
9	100.00	234.70	0.0394	2.347000	0.002117	78.54	78.71	42.30	19.19	0.243798
10	110.00	225.17	0.0433	2.251667	0.002328	78.54	78.72	41.60	18.87	0.239720
11	120.00	215.60	0.0472	2.156000	0.002540	78.54	78.74	40.90	18.55	0.235630

Gráfica 3.54. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4.2. Aplicación de geotextil no tejido

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.82. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.83. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.84. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.55. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.56.

Tabla 3.82. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana”

N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	12450		12940	12520		12960	12560		12990
Peso Molde	7950		7950	7950		7950	7950		7950
Peso muestra húmeda	4500		4990	4570		5010	4610		5040
Volumen de la muestra	2165		2165	2165		2165	2165		2165
Peso Unit. Muestra Húm.	2.078		2.305	2.111		2.314	2.129		2.328
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	59.70	48.00	66.50	59.47	61.44	64.10	62.40	56.93	57.13
Peso muestra seca + tara	54.73	44.10	56.70	55.13	55.77	55.33	56.73	51.97	50.30
Peso del agua	4.97	3.90	9.80	4.33	5.67	8.77	5.67	4.96	6.83
Peso de tara	23.83	21.83	22.07	29.33	21.50	21.53	22.27	22.10	20.40
Peso de la muestra seca	30.90	22.27	34.63	25.80	34.27	33.80	34.47	29.87	29.90
Contenido humedad %	16.07	17.51	28.30	16.80	16.56	25.94	16.44	16.62	22.85
Promedio cont. Humedad	16.794		28.296	16.676		25.937	16.530		22.854
Peso Unit.muestra seca	1.780		1.796	1.809		1.837	1.827		1.895

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.83. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”

FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
		DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
07-abr	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-abr	10:30	2	4.607	0.461	2.591	4.32	0.432	2.432	4.06	0.406	2.285
09-abr	11:00	3	4.783	0.478	2.690	4.62	0.462	2.600	4.37	0.437	2.458
10-abr	08:00	4	4.933	0.493	2.775	4.77	0.477	2.681	4.63	0.463	2.604

Fuente: Elaboración Propia

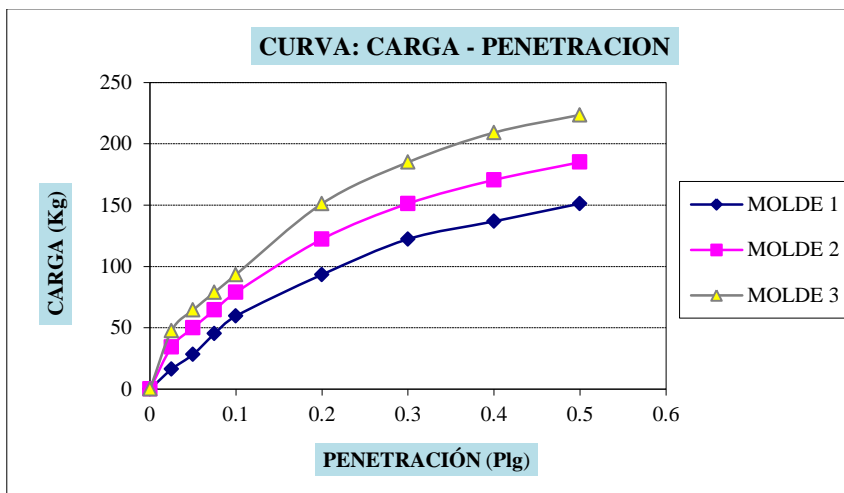
Tabla 3.84. Valores de Expansión de “Av. Panamericana”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
NORMAL		CARGA ENSAYO	C.B.R. COR		CARGA ENSAYO	C.B.R. COR		CARGA ENSAYO	C.B.R. COR			
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0		
0.025	0.63		16.2	0.8		34.3	1.8		47.5	2.5		
0.05	1.27		28.3	1.5		50.0	2.6		64.4	3.3		
0.075	1.9		45.1	2.3		64.4	3.3		78.9	4.1		

0.1	2.54	1360	59.6	3.1	<b>4.4</b>	78.9	4.1	<b>5.8</b>	93.4	4.8	<b>6.9</b>
0.2	5.08	2040	93.4	4.8	<b>4.6</b>	122.3	6.3	<b>6.0</b>	151.2	7.8	<b>7.4</b>
0.3	7.62		122.3	6.3		151.2	7.8		185.0	9.6	
0.4	10.16		136.7	7.1		170.5	8.8		209.1	10.8	
0.5	12.7		151.2	7.8		185.0	9.6		223.5	11.5	

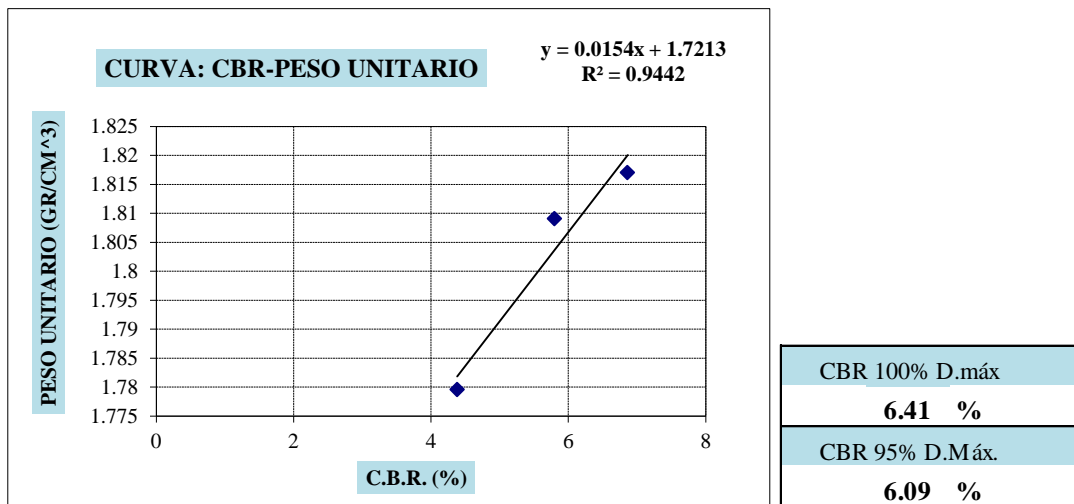
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.55. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.56. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

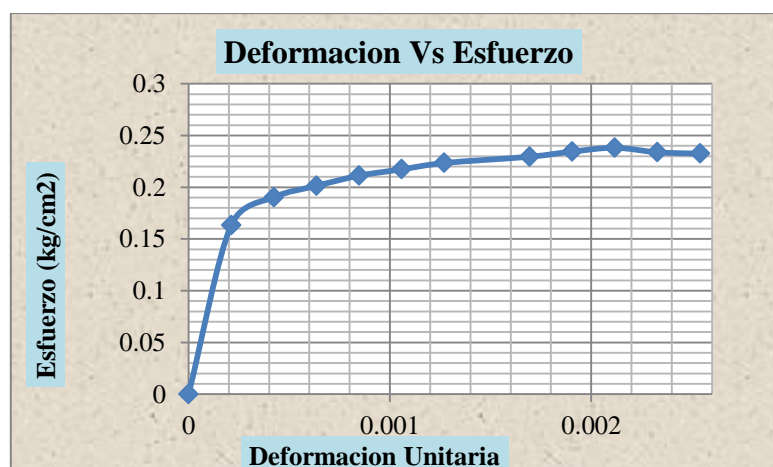
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.85 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.57

*Tabla 3.85. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”*

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	43.17	0.0039	0.431733	0.000212	78.54	78.56	28.26	12.82	0.163202
2	20.00	107.11	0.0079	1.071100	0.000423	78.54	78.57	32.95	14.95	0.190222
3	30.00	133.41	0.0118	1.334133	0.000635	78.54	78.59	34.88	15.82	0.201310
4	40.00	156.74	0.0157	1.567400	0.000847	78.54	78.61	36.59	16.60	0.211134
5	50.00	171.32	0.0197	1.713167	0.001058	78.54	78.62	37.66	17.08	0.217253
6	60.00	185.93	0.0236	1.859267	0.001270	78.54	78.64	38.73	17.57	0.223384
7	80.00	200.58	0.0315	2.005767	0.001693	78.54	78.67	39.80	18.05	0.229481
8	90.00	212.33	0.0354	2.123333	0.001905	78.54	78.69	40.66	18.44	0.234400
9	100.00	221.29	0.0394	2.212900	0.002117	78.54	78.71	41.32	18.74	0.238134
10	110.00	211.07	0.0433	2.110733	0.002328	78.54	78.72	40.57	18.40	0.233768
11	120.00	207.92	0.0472	2.079200	0.002540	78.54	78.74	40.34	18.30	0.232387

*Fuente: Elaboración Propia*

*Gráfica 3.57. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Av. Panamericana”*



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.4.3. Aplicación de geomalla biaxial

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.86. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.87. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.88. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.58. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.59.

*Tabla 3.86. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana”*

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M	Antes de mojarse		D. de M
Peso muestra húm.+molde	11050		11340	11110		11330	11240		11460
Peso Molde	6470		6470	6470		6470	6530		6530
Peso muestra húmeda	4580		4870	4640		4860	4710		4930
Volumen de la muestra	2189		2189	2189		2189	2208		2208
Peso Unit. Muestra Húm.	2.092		2.225	2.120		2.220	2.133		2.233
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	163.77	149.30	149.80	167.20	168.20	142.77	184.47	131.80	153.90
Peso muestra seca + tara	145.47	133.27	129.63	148.63	149.37	123.73	163.50	119.10	134.93
Peso del agua	18.30	16.03	20.17	18.57	18.83	19.03	20.97	12.70	18.97
Peso de tara	35.73	34.87	40.00	34.91	34.47	33.67	34.51	39.93	39.37
Peso de la muestra seca	109.73	98.40	89.63	113.72	114.89	90.07	128.99	79.17	95.57
Contenido humedad %	16.68	16.29	22.50	16.33	16.39	21.13	16.25	16.04	19.85
Promedio cont. Humedad	16.485		22.499	16.359		21.132	16.148		19.847
Peso Unit.muestra seca	1.796		1.816	1.822		1.833	1.837		1.863

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.87. Valores de Expansión de “Av. Panamericana”*

FECHA	HORA	TIEMPO EN DIAS	MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
			LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
			EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
23-may	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24-may	10:30	2	4.45	0.445	2.503	4.15	0.415	2.334	3.96	0.3963	2.229
25-may	11:00	3	4.68	0.468	2.632	4.49	0.449	2.525	4.23	0.423	2.379
26-may	08:00	4	4.853	0.4853	2.730	4.6533	0.4653	2.617	4.48	0.448	2.520

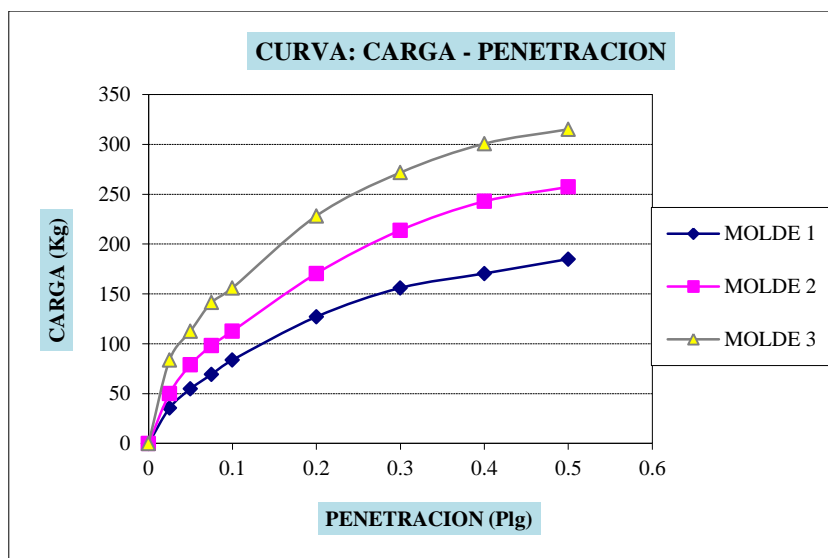
*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 3.88. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”

PENETRACION		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
Pulg.	mm	Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		35.5	1.8		50.0	2.6		83.7	4.3	
0.05	1.27		54.8	2.8		78.9	4.1		112.6	5.8	
0.075	1.9		69.2	3.6		98.2	5.1		141.6	7.3	
0.1	2.54	1360	83.7	4.3	<b>6.2</b>	112.6	5.8	<b>8.3</b>	156.0	8.1	<b>11.5</b>
0.2	5.08	2040	127.1	6.6	<b>6.2</b>	170.5	8.8	<b>8.4</b>	228.4	11.8	<b>11.2</b>
0.3	7.62		156.0	8.1		213.9	11.1		271.7	14.0	
0.4	10.16		170.5	8.8		242.8	12.5		300.7	15.5	
0.5	12.7		185.0	9.6		257.3	13.3		315.1	16.3	

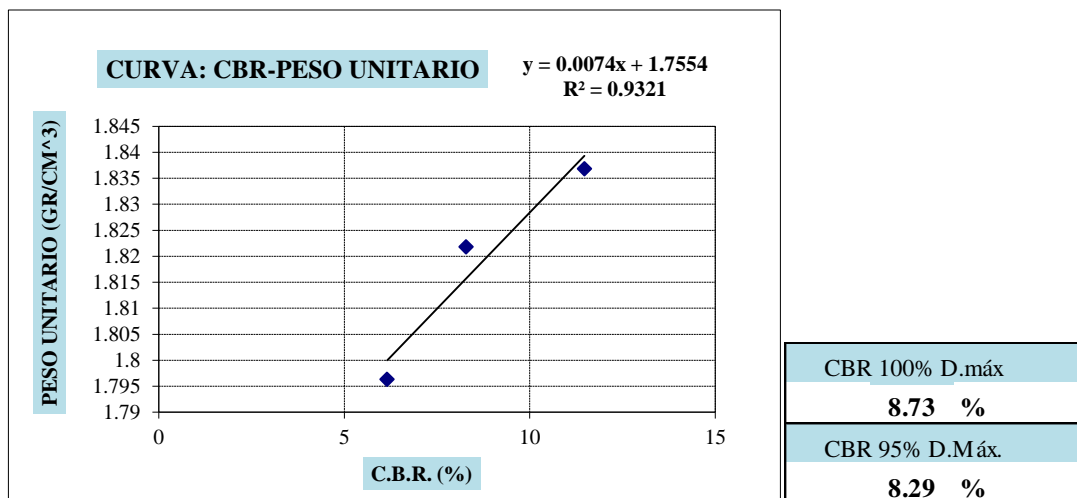
Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.58. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.59. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

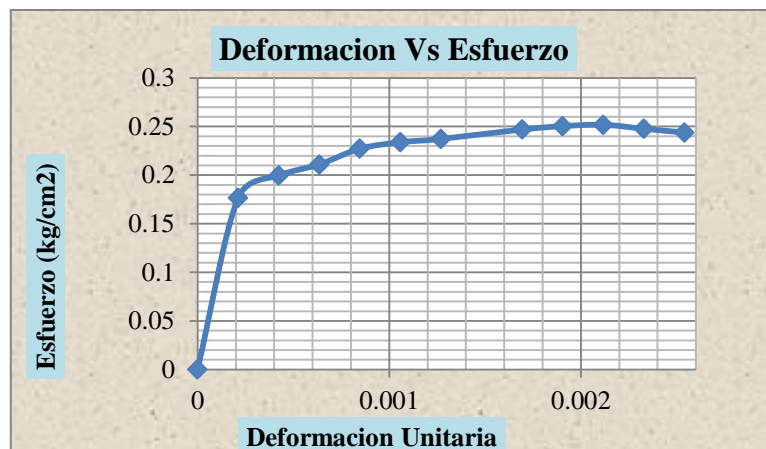
Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.89 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.60

Tabla 3.89. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”

N°	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	74.45	0.0039	0.744467	0.000212	78.54	78.56	30.56	13.86	0.176438
2	20.00	129.16	0.0079	1.291633	0.000423	78.54	78.57	34.57	15.68	0.199554
3	30.00	156.25	0.0118	1.562533	0.000635	78.54	78.59	36.55	16.58	0.210973
4	40.00	194.83	0.0157	1.948333	0.000847	78.54	78.61	39.38	17.86	0.227246
5	50.00	210.48	0.0197	2.104833	0.001058	78.54	78.62	40.53	18.38	0.233816
6	60.00	218.73	0.0236	2.187333	0.001270	78.54	78.64	41.13	18.66	0.237255
7	80.00	242.00	0.0315	2.420033	0.001693	78.54	78.67	42.84	19.43	0.246988
8	90.00	250.27	0.0354	2.502667	0.001905	78.54	78.69	43.44	19.71	0.250427
9	100.00	253.66	0.0394	2.536633	0.002117	78.54	78.71	43.69	19.82	0.251809
10	110.00	244.13	0.0433	2.441333	0.002328	78.54	78.72	42.99	19.50	0.247731
11	120.00	234.94	0.0472	2.349400	0.002540	78.54	78.74	42.32	19.20	0.243796

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.60 Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4.4. Aplicación de Geogrilla

#### a. CBR

El Contenido de humedad y peso unitario se presenta en la Tabla 3.90. los valores de expansión se muestra en la Tabla 3.91. y las cargas y los valores de CBR corregido en la Tabla 3.92. la curva de Carga-Penetración en la Gráfica 3.61. y la curva CBR-Peso Unitario en la Gráfica 3.62.

Tabla 3.90. Contenido de Humedad y Peso Unitario de “Av. Panamericana”

Nº capas	5			5			5		
Nº golpes por capa	12			25			56		
CONDICION DE MUESTRA	Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M		Antes de mojarse	D. de M	
Peso muestra húm.+molde	11027	11313		11110	11367		11160	11437	
Peso Molde	6760	6760		6740	6740		6760	6760	
Peso muestra húmeda	4267	4553		4370	4627		4400	4677	
Volumen de la muestra	2059	2059		2059	2059		2059	2059	
Peso Unit. Muestra Húm.	2.072	2.211		2.122	2.247		2.137	2.271	
MUESTRA DE HUMEDAD	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.	Fondo	Superf.	2" sup.
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	169.60	163.90	198.30	167.57	163.37	196.10	171.87	172.00	201.97
Peso muestra seca + tara	150.23	145.87	168.17	149.03	145.13	168.23	153.80	154.47	174.23
Peso del agua	19.37	18.03	30.13	18.53	18.23	27.87	18.07	17.53	27.73
Peso de tara	34.27	35.10	34.17	35.10	34.57	37.27	42.27	45.73	37.83

Peso de la muestra seca	115.97	110.77	134.00	113.93	110.57	130.97	111.53	108.73	136.40		
Contenido humedad %	16.70	16.28	22.49	16.27	16.49	21.28	16.20	16.13	20.33		
Promedio cont. Humedad	16.490		22.488		16.379		21.278		16.162		20.332
Peso Unit.muestra seca	1.779		1.805		1.824		1.853		1.839		1.887

*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.91. Cargas y valores de CBR corregidos de “Av. Panamericana”*

FECHA	HORA	TIEMPO	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		EN	LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION		LECT.	EXPANSION	
		DIAS	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%	EXTENS.	CM.	%
02-jun	10:50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03-jun	10:30	2	4.217	0.422	2.372	4.03	0.403	2.267	3.75	0.375	2.107
04-jun	11:00	3	4.33	0.433	2.435	4.15	0.415	2.336	3.82	0.382	2.148
05-jun	08:00	4	4.473	0.447	2.516	3.67	0.367	2.062	4.03	0.403	2.265

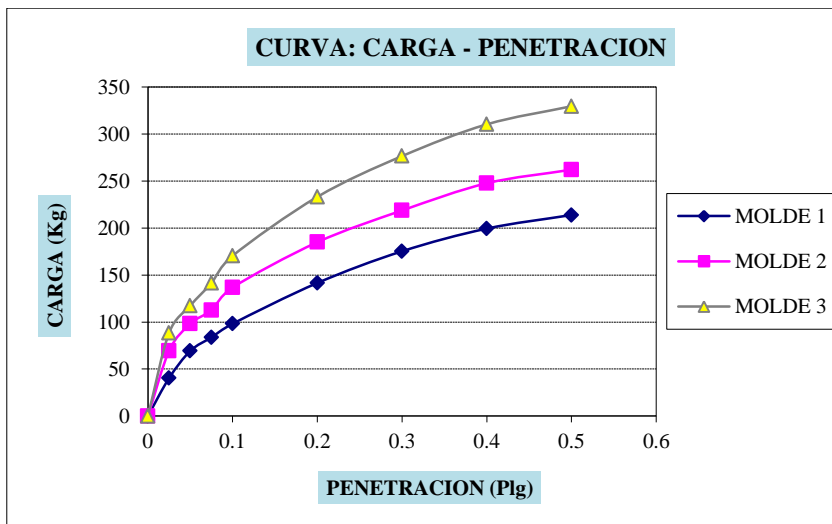
*Fuente: Elaboración Propia*

*Tabla 3.92. Valores de Expansión de “Av. Panamericana”*

C.B.R.		CARGA	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
Pulg.	mm	NORMAL	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR	CARGA ENSAYO		C.B.R. COR
		Kg	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%	Kg	Kg/cm2	%
0	0		0.0	0		0.0	0		0.0	0.0	
0.025	0.63		40.3	2.1		69.2	3.6		88.5	4.6	
0.05	1.27		69.2	3.6		98.2	5.1		117.5	6.1	
0.075	1.9		83.7	4.3		112.6	5.8		141.6	7.3	
0.1	2.54	1360	98.2	5.1	<b>7.2</b>	136.7	7.1	<b>10.1</b>	170.5	8.8	<b>12.5</b>
0.2	5.08	2040	141.6	7.3	<b>6.9</b>	185.0	9.6	<b>9.1</b>	233.2	12.0	<b>11.4</b>
0.3	7.62		175.3	9.1		218.7	11.3		276.6	14.3	
0.4	10.16		199.4	10.3		247.6	12.8		310.3	16.0	
0.5	12.7		213.9	11.1		262.1	13.5		329.6	17.0	

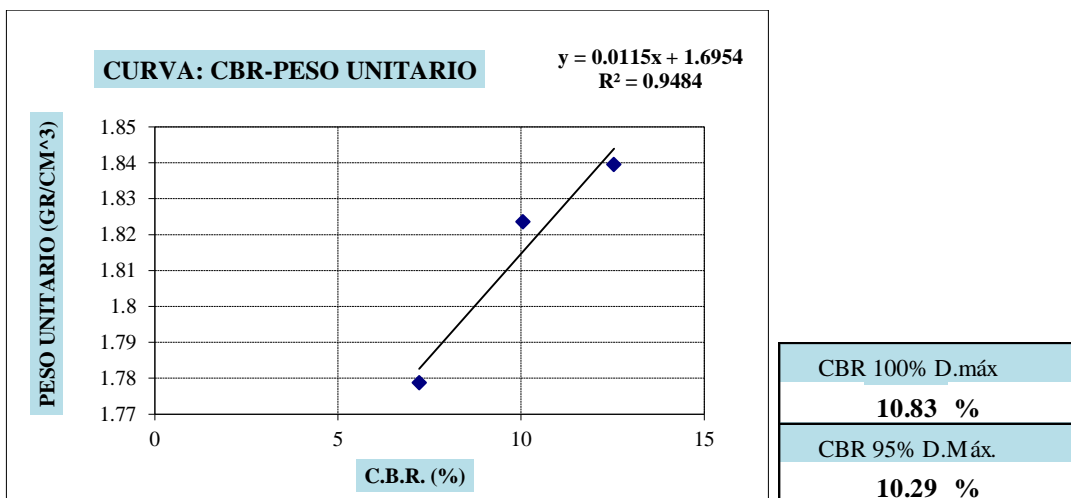
*Fuente: Elaboración Propia*

Gráfica 3.61. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 3.62. Curva de Carga Penetración “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración Propia

### b. Compresión simple

Los datos y valores de deformaciones y esfuerzos se presentan en la Tabla 3.93 y la curva deformación Unitaria Vs. Esfuerzo en la Gráfica 3.63

*Tabla 3.93. Datos y valores deformaciones y esfuerzos de “Av. Panamericana”*

Nº	Lectura de Deformación	Lectura de carga	Deformación	Carga	Deformación Unitaria	Área (cm <sup>2</sup> )	Área Cor. (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Lb)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.00	80.21	0.0039	0.802133	0.000212	78.54	78.56	30.98	14.05	0.178879
2	20.00	135.04	0.0079	1.350367	0.000423	78.54	78.57	35.00	15.87	0.202040
3	30.00	162.17	0.0118	1.621667	0.000635	78.54	78.59	36.99	16.78	0.213474
4	40.00	200.83	0.0157	2.008267	0.000847	78.54	78.61	39.82	18.06	0.229781
5	50.00	216.49	0.0197	2.164900	0.001058	78.54	78.62	40.97	18.58	0.236356
6	60.00	224.87	0.0236	2.248733	0.001270	78.54	78.64	41.58	18.86	0.239851
7	80.00	248.36	0.0315	2.483633	0.001693	78.54	78.67	43.31	19.64	0.249676
8	90.00	256.99	0.0354	2.569933	0.001905	78.54	78.69	43.94	19.93	0.253270
9	100.00	260.66	0.0394	2.606633	0.002117	78.54	78.71	44.21	20.05	0.254766
10	110.00	251.17	0.0433	2.511733	0.002328	78.54	78.72	43.51	19.74	0.250704
11	120.00	241.89	0.0472	2.418867	0.002540	78.54	78.74	42.83	19.43	0.246730

*Fuente: Elaboración Propia*

*Gráfica 3.63. Curva Deformación Unitario Vs. Esfuerzo “Av. Panamericana”*



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.4. Resumen de los valores obtenidos

#### 3.4.1. %CBR

##### a. %CBR “Los Chapacos”

En la Tabla 3.94 y 3.95 se muestran los resultados obtenidos del %CBR de los geosintéticos aplicados en la superficie y en la mitad de ambos suelos utilizados.

*Tabla 3.94. Ensayo de CBR “Los Chapacos”. Geosintético aplicado en la superficie y en la mitad*

N°	Geosintético en la Superficie				Geosintético en la mitad			
	GT	GNT	GMB	GG	GT	GNT	GMB	GG
Ensayo 1	11.49	9.73	11.36	11.80	7.04	6.52	7.35	7.67
Ensayo 2	11.34	9.84	11.40	11.84	7.10	6.43	7.18	7.56
Ensayo 3	11.33	9.82	11.46	11.95	6.94	6.61	7.24	7.65
Promedio	11.38	9.80	11.43	11.86	7.04	6.52	7.25	7.63

*Fuente: Elaboración propia*

##### b. %CBR “Los Chapacos”

*Tabla 3.95. Ensayo de CBR “Av. Panamericana”. Geosintético aplicado en la superficie y en la mitad*

N°	Geosintético en la Superficie				Geosintético en la mitad			
	GT	GNT	GMB	GG	GT	GNT	GMB	GG
Ensayo 1	12.18	10.88	12.96	14.54	7.16	5.96	8.43	10.36
Ensayo 2	12.11	11.07	13.19	14.47	7.55	6.15	8.38	10.34
Ensayo 3	12.19	10.90	13.13	14.36	7.26	6.12	8.04	10.22
Promedio	12.19	10.93	13.08	14.43	7.39	6.09	8.29	10.29

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.2. Compresión simple “Los Chapacos”

En la Tabla 3.96 3.97 3.98 3.99 se muestran los resultados obtenidos con el ensayo de compresión simple de los geosintéticos aplicados en la superficie.

#### a. Geosintético aplicado en la Superficie

Tabla 3.96. Ensayo de Comp. Simple “Los Chapacos” +GT Superficie

Geotextil Tejido (Superficie)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.17623	0.17439	0.17255	0.17623
0.00042	0.21116	0.21300	0.20380	0.21116
0.00064	0.22768	0.23136	0.22768	0.22768
0.00085	0.25155	0.25339	0.24787	0.25155
0.00106	0.26070	0.25886	0.25518	0.26070
0.00127	0.26616	0.26800	0.26432	0.26616
0.00169	0.27892	0.28075	0.27708	0.27892
0.00191	0.28437	0.28437	0.28253	0.28437
0.00212	0.28615	0.28799	0.28615	0.28615
0.00233	0.27981	0.28041	0.28096	0.28039
0.00254	0.27304	0.27368	0.27427	0.27366

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.97. Ensayo de Comp. Simple “Los Chapacos” +GNT Sup.

Geotextil No Tejido (Superficie)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.16702	0.16702	0.16702	0.16702
0.00042	0.20748	0.20795	0.20829	0.20791
0.00064	0.22400	0.22455	0.22497	0.22451
0.00085	0.23867	0.23927	0.23973	0.23922
0.00106	0.24782	0.24841	0.24889	0.24837
0.00127	0.25696	0.25758	0.25805	0.25753
0.00169	0.26605	0.26670	0.26719	0.26665
0.00191	0.27334	0.27404	0.27453	0.27397
0.00212	0.27880	0.27947	0.27998	0.27942
0.00233	0.27221	0.27292	0.27342	0.27285
0.00254	0.27013	0.27084	0.27135	0.27077

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 98. Ensayo de Comp. Simple “Los Chapacos” +GMB Superficie

Geomalla Biaxial (Superficie)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.18228	0.18279	0.18312	0.18273
0.00042	0.21727	0.21775	0.21813	0.21772
0.00064	0.23383	0.23435	0.23483	0.23434
0.00085	0.25785	0.25841	0.25898	0.25841
0.00106	0.26718	0.26784	0.26841	0.26781
0.00127	0.27278	0.27348	0.27419	0.27348
0.00169	0.28601	0.28675	0.28755	0.28677
0.00191	0.29154	0.29233	0.29323	0.29237
0.00212	0.29346	0.29412	0.29520	0.29426
0.00233	0.28727	0.28797	0.28900	0.28808
0.00254	0.28085	0.28147	0.28235	0.28156

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.99. Ensayo de Comp. Simple “Los Chapacos” +GG Superficie

Geogrilla (Superficie)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.18833	0.18881	0.18917	0.18878
0.00042	0.22338	0.22390	0.22424	0.22382
0.00064	0.23998	0.24059	0.24098	0.24049
0.00085	0.26415	0.26480	0.26527	0.26471
0.00106	0.27365	0.27435	0.27489	0.27428
0.00127	0.27939	0.28013	0.28081	0.28010
0.00169	0.29310	0.29389	0.29464	0.29386
0.00191	0.29872	0.29956	0.30040	0.29954
0.00212	0.30078	0.30175	0.30252	0.30158
0.00233	0.29472	0.29575	0.29646	0.29553
0.00254	0.28867	0.28968	0.29016	0.28937

Fuente: Elaboración propia

### b. Geosintético aplicado en la mitad

En la Tabla 3.100 3.101 3.102 3.103 se muestran los resultados obtenidos con el ensayo de compresión simple de los geosintéticos aplicados en la mitad.

*Tabla 3.100. Ensayo de Comp. Simple “Los Chapacos” +GT mitad*

Geotextil Tejido (Mitad)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.16580	0.16596	0.16618	0.16598
0.00042	0.18908	0.18933	0.18963	0.18934
0.00064	0.20008	0.20033	0.20063	0.20035
0.00085	0.21598	0.21607	0.21623	0.21609
0.00106	0.22207	0.22262	0.22312	0.22260
0.00127	0.22570	0.22629	0.22684	0.22628
0.00169	0.23418	0.23486	0.23549	0.23484
0.00191	0.23781	0.23853	0.23920	0.23851
0.00212	0.23898	0.23962	0.24021	0.23960
0.00233	0.23475	0.23560	0.23589	0.23533
0.00254	0.23023	0.23234	0.23145	0.23084

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 3.101. Ensayo de Comp. Simple “Los Chapacos” +GNT mitad*

Geotextil No Tejido (Mitad)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.15966	0.15983	0.16010	0.15986
0.00042	0.18662	0.18683	0.18714	0.18687
0.00064	0.19762	0.19781	0.19814	0.19786
0.00085	0.20739	0.20767	0.20802	0.20770
0.00106	0.21348	0.21379	0.21419	0.21382
0.00127	0.21957	0.21989	0.22031	0.21992
0.00169	0.22560	0.22607	0.22649	0.22605
0.00191	0.23046	0.23093	0.23140	0.23093
0.00212	0.23408	0.23472	0.23520	0.23467
0.00233	0.22968	0.23049	0.23100	0.23039
0.00254	0.22828	0.22909	0.22963	0.22900

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3.102. Ensayo de Comp. Simple “Los Chapacos” +GMB mitad

Geomalla Biaxial (Mitad)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.16983	0.17034	0.17067	0.17028
0.00042	0.19315	0.19362	0.19401	0.19359
0.00064	0.20418	0.20470	0.20517	0.20468
0.00085	0.22018	0.22074	0.22130	0.22074
0.00106	0.22639	0.22705	0.22762	0.22702
0.00127	0.23011	0.23082	0.23152	0.23082
0.00169	0.23891	0.23965	0.24045	0.23967
0.00191	0.24259	0.24338	0.24428	0.24342
0.00212	0.24386	0.24452	0.24560	0.24466
0.00233	0.23972	0.24042	0.24145	0.24053
0.00254	0.23543	0.23605	0.23693	0.23614

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.103. Ensayo de Comp. Simple “Los Chapacos” +GG mitad

Geogrilla (Mitad)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm <sup>2</sup> )			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.17623	0.17623	0.17000	0.17623
0.00042	0.21116	0.21116	0.21000	0.21116
0.00064	0.22768	0.22768	0.23000	0.22768
0.00085	0.25155	0.25155	0.24000	0.25155
0.00106	0.26070	0.26070	0.25000	0.26070
0.00127	0.26616	0.26616	0.26000	0.26616
0.00169	0.27892	0.27892	0.27000	0.27892
0.00191	0.28437	0.28437	0.28000	0.28437
0.00212	0.28615	0.28615	0.29000	0.28615
0.00233	0.28628	0.28286	0.28083	0.28332
0.00254	0.27726	0.27608	0.27511	0.27615

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. Compresión simple “Avenida Panamericana”

#### a. Geosintético aplicado en la Superficie

En la Tabla 3.104 3.105 3.106 3.107 se muestran los resultados obtenidos con el ensayo de compresión simple de los geosintéticos aplicados en la superficie.

Tabla 3.104. Ensayo de Comp. Simple “Av. Panam.” +GT Superficie

Geotextil Tejido (Superficie)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.18063	0.17439	0.17255	0.17623
0.00042	0.21578	0.21300	0.20380	0.21116
0.00064	0.23246	0.23136	0.22768	0.22768
0.00085	0.25637	0.25339	0.24787	0.25155
0.00106	0.26594	0.25886	0.25518	0.26070
0.00127	0.27271	0.26800	0.26432	0.26616
0.00169	0.28411	0.28075	0.27708	0.27892
0.00191	0.28914	0.28437	0.28253	0.28437
0.00212	0.29181	0.28799	0.28615	0.28615
0.00233	0.28556	0.28615	0.28674	0.28615
0.00254	0.27895	0.27959	0.28022	0.27959

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.105. Ensayo de Comp. Simple “Av. Panam.” +GNT Sup.

Geotextil No Tejido (Superficie)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.17176	0.17210	0.17258	0.17215
0.00042	0.21226	0.21265	0.21312	0.21268
0.00064	0.22882	0.22925	0.22981	0.22930
0.00085	0.24354	0.24400	0.24456	0.24403
0.00106	0.25266	0.25317	0.25378	0.25321
0.00127	0.26189	0.26236	0.26301	0.26242
0.00169	0.27099	0.27152	0.27221	0.27157
0.00191	0.27845	0.27897	0.27954	0.27899
0.00212	0.28399	0.28452	0.28523	0.28458
0.00233	0.27741	0.27797	0.27872	0.27803
0.00254	0.27524	0.27584	0.27673	0.27594

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.106. Ensayo de Comp. Simple “Av. Panam.” +GMB Superficie

Geomalla Biaxial (Superficie)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.19163	0.19197	0.19245	0.19202
0.00042	0.22628	0.22666	0.22714	0.22670
0.00064	0.24335	0.24378	0.24434	0.24382
0.00085	0.26775	0.26821	0.26877	0.26824
0.00106	0.27754	0.27804	0.27866	0.27808
0.00127	0.28267	0.28314	0.28379	0.28320
0.00169	0.29721	0.29773	0.29843	0.29779
0.00191	0.30240	0.30292	0.30349	0.30294
0.00212	0.30441	0.30493	0.30564	0.30499
0.00233	0.29825	0.29881	0.29956	0.29887
0.00254	0.29221	0.29282	0.29370	0.29291

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.107. Ensayo de Comp. Simple “Av. Panam.” +GG Superficie

Geogrilla (Superficie)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.19527	0.19562	0.19609	0.19566
0.00042	0.23005	0.23037	0.23085	0.23042
0.00064	0.24714	0.24749	0.24806	0.24756
0.00085	0.27160	0.27197	0.27253	0.27203
0.00106	0.28143	0.28182	0.28244	0.28190
0.00127	0.28664	0.28706	0.28771	0.28714
0.00169	0.30134	0.30181	0.30251	0.30189
0.00191	0.30662	0.30728	0.30785	0.30725
0.00212	0.30867	0.30947	0.31018	0.30944
0.00233	0.30257	0.30337	0.30412	0.30335
0.00254	0.29652	0.29736	0.29824	0.29737

Fuente: Elaboración propia

**b. Geosintético aplicado en la mitad**

En la Tabla 3.108 3.109 3.110 3.111 se muestran los resultados obtenidos con el ensayo de compresión simple de los geosintéticos aplicados en la mitad.

*Tabla 3.108. Ensayo de Comp. Simple “Av. Panam.” +GT mitad*

Geotextil Tejido (Mitad)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.16884	0.16901	0.16922	0.16903
0.00042	0.19232	0.19257	0.19287	0.19259
0.00064	0.20343	0.20369	0.20398	0.20370
0.00085	0.21925	0.21934	0.21951	0.21936
0.00106	0.22593	0.22648	0.22699	0.22647
0.00127	0.23046	0.23105	0.23160	0.23104
0.00169	0.23810	0.23877	0.23941	0.23876
0.00191	0.24147	0.24219	0.24286	0.24217
0.00212	0.24318	0.24381	0.24440	0.24380
0.00233	0.23897	0.23982	0.24037	0.23972
0.00254	0.23459	0.23586	0.23645	0.23563

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 3.109. Ensayo de Comp. Simple “Av. Panam.” +GNT mitad*

Geotextil No Tejido (Mitad)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.16282	0.16316	0.16363	0.16320
0.00042	0.18981	0.19019	0.19067	0.19022
0.00064	0.20084	0.20126	0.20183	0.20131
0.00085	0.21064	0.21110	0.21166	0.21113
0.00106	0.21671	0.21722	0.21783	0.21725
0.00127	0.22285	0.22333	0.22398	0.22338
0.00169	0.22890	0.22942	0.23012	0.22948
0.00191	0.23386	0.23438	0.23495	0.23440
0.00212	0.23755	0.23807	0.23878	0.23813
0.00233	0.23315	0.23370	0.23446	0.23377
0.00254	0.23169	0.23229	0.23318	0.23239

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3.110. Ensayo de Comp. Simple “Av. Panam.” +GMB mitad

Geomalla Biaxial (Mitad)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.17607	0.17639	0.17686	0.17644
0.00042	0.19916	0.19951	0.19999	0.19955
0.00064	0.21052	0.21091	0.21148	0.21097
0.00085	0.22678	0.22720	0.22776	0.22725
0.00106	0.23329	0.23377	0.23438	0.23382
0.00127	0.23671	0.23720	0.23786	0.23725
0.00169	0.24638	0.24695	0.24764	0.24699
0.00191	0.24983	0.25044	0.25101	0.25043
0.00212	0.25115	0.25178	0.25249	0.25181
0.00233	0.24704	0.24770	0.24845	0.24773
0.00254	0.24301	0.24375	0.24464	0.24380

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.111. Ensayo de Comp. Simple “Av. Panam.” +GG mitad

Geogrilla (Mitad)				
Def. Unit.	Esfuerzo(Kg/cm2)			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo Prom.
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.17849	0.17884	0.17931	0.17888
0.00042	0.20167	0.20199	0.20247	0.20204
0.00064	0.21305	0.21340	0.21397	0.21347
0.00085	0.22934	0.22972	0.23028	0.22978
0.00106	0.23589	0.23628	0.23690	0.23636
0.00127	0.23935	0.23977	0.24042	0.23985
0.00169	0.24913	0.24960	0.25030	0.24968
0.00191	0.25264	0.25330	0.25387	0.25327
0.00212	0.25400	0.25480	0.25550	0.25477
0.00233	0.24992	0.25072	0.25147	0.25070
0.00254	0.24588	0.24671	0.24760	0.24673

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

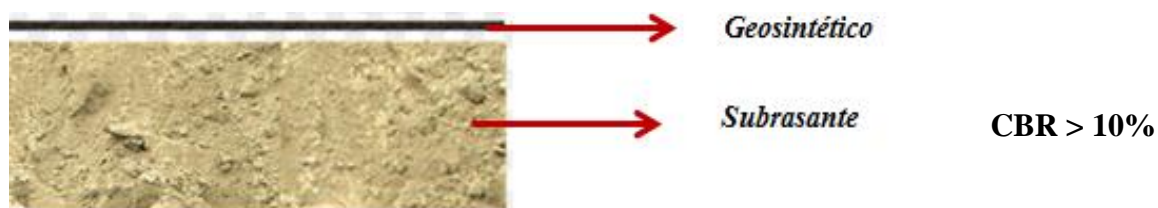
## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según la hipótesis inicial se busca aumentar la resistencia ante una carga externa de la subrasante con la aplicación de un manto geosintético, se cumplió cabalmente lo propuesto en diferentes grados según el geosintético utilizado.

Con la aplicación del geosintético en la superficie el valor de CBR de la muestra aumenta el CBR hasta un 10% rango donde se considera de regular a buena

*Figura N°4.1. Subrasante reforzada con geosintético colocado en la superficie*



*Fuente: Elaboración propia*

La aplicación del geosintético en la mitad de la subrasante da como valor de CBR de la muestra un 7% rango donde se considera regular a buena.

*Figura N°4.2. Subrasante reforzada con geosintético colocado en la mitad*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1. Incremento de la capacidad portante de la subrasante

La utilización de un geotextil de refuerzo en las vías permite incrementar la capacidad portante del sistema que conforman las capas estructurales de la vía, y la forma más común de introducir ese incremento es dentro de las propiedades mecánicas que presenta la capa de subrasante de la vía en estudio.

La capacidad portante se determina con el CBR de la subrasante, medido para las condiciones más críticas de densidad y de humedad.

#### 4.1.1. Subrasante procedente de “Los Chapacos”

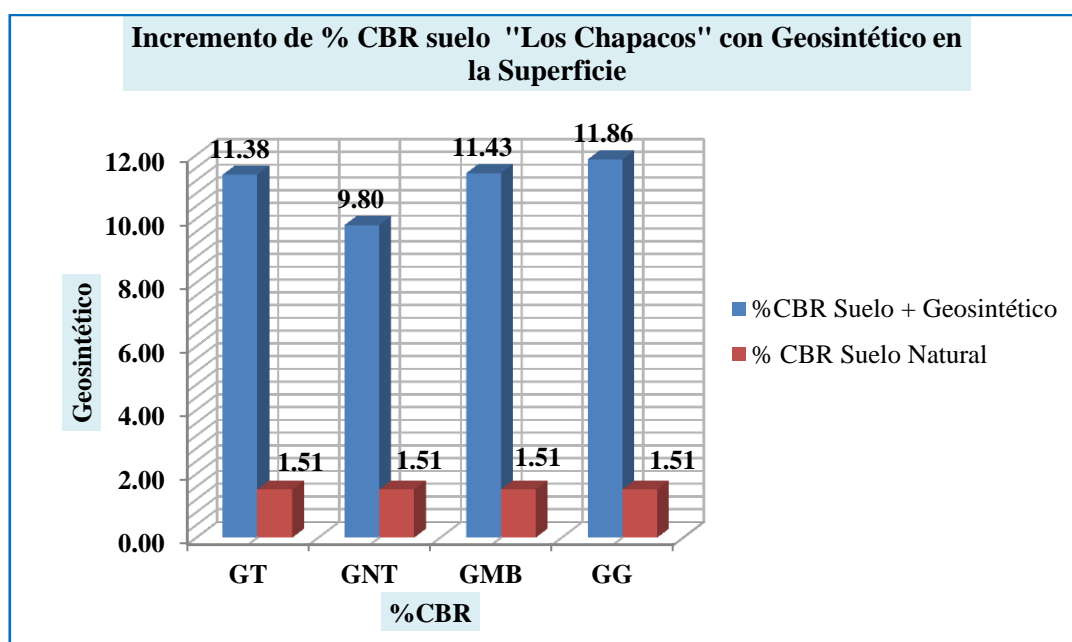
##### a. Geosintético aplicado en la superficie

Tabla 4.1. Incremento del valor CBR en la subrasante “Los Chapacos”

Geosintético	%CBR		Incremento
	Suelo natural	Suelo + Geosintético	
GT	1.51	11.38	9.87
GNT		9.80	8.29
GMB		11.43	9.92
GG		11.86	10.35

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.1. Incremento de %CBR suelo natural “Los Chapacos” con Geosintético



Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 4.1. y Gráfica 4.1. se puede evidenciar un claro aumento del valor de % CBR del suelo subrasante natural procedente de “Los Chapacos” con la aplicación de los distintos geosintéticos en la superficie del suelo.

El geosintético aplicado con mejores resultados es la Geogrilla que tuvo un incremento de 10.35%, luego la Geomalla Biaxial y el Geotextil Tejido, por último el geosintético con menor incremento es el Geotextil no tejido con un incremento de 8.29%.

Con los resultados obtenidos se comprueba que se logró el objetivo que es el aumentar la capacidad portante de un suelo fino, el %CBR del suelo procedente de “Los Chapacos” en su estado natural 1.51 % con la aplicación de los geosintéticos se logró aumentar el %CBR, con el Geotextil Tejido 11.38%, Geotextil no Tejido 9.80%, Geomalla Biaxial 11.43% y Geogrilla 11.86%.

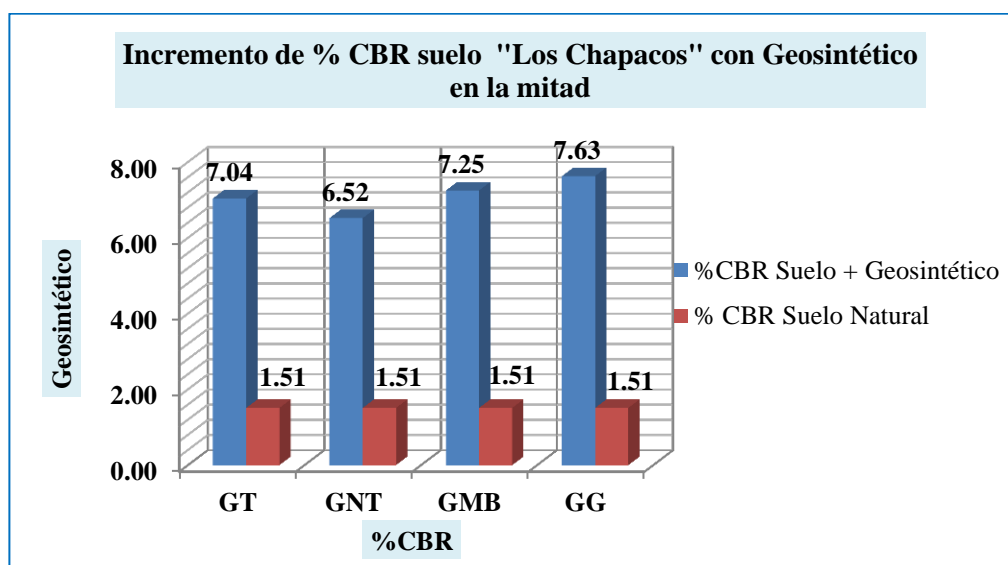
### b. Geosintético aplicado en la mitad

Tabla 4.2. Incremento del valor CBR en la subrasante “Los Chapacos”

Geosintético	%CBR		Incremento
	Suelo natural	Suelo + Geosintético	
GT	1.51	7.04	5.53
GNT		6.52	5.01
GMB		7.25	5.74
GG		7.63	6.12

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.2. Incremento de %CBR suelo natural “Los Chapacos” con Geosintético



Fuente: Elaboración propia

A diferencia de los valores obtenidos con la aplicación de los geosintéticos en la superficie los valores que se obtienen cuando se ponen los geosintéticos en la mitad del espécimen son menores. En la Tabla 4.2. y Gráfica 4.2. se puede deducir que el geosintético aplicado con mejores resultados es la Geogrilla que tuvo un incremento de 6.12%, luego la Geomalla Biaxial y el Geotextil Tejido, por último el geosintético con menor incremento es el Geotextil no tejido con un incremento de 5.01%.

#### 4.1.2. Subrasante procedente de “Av. Panamericana”

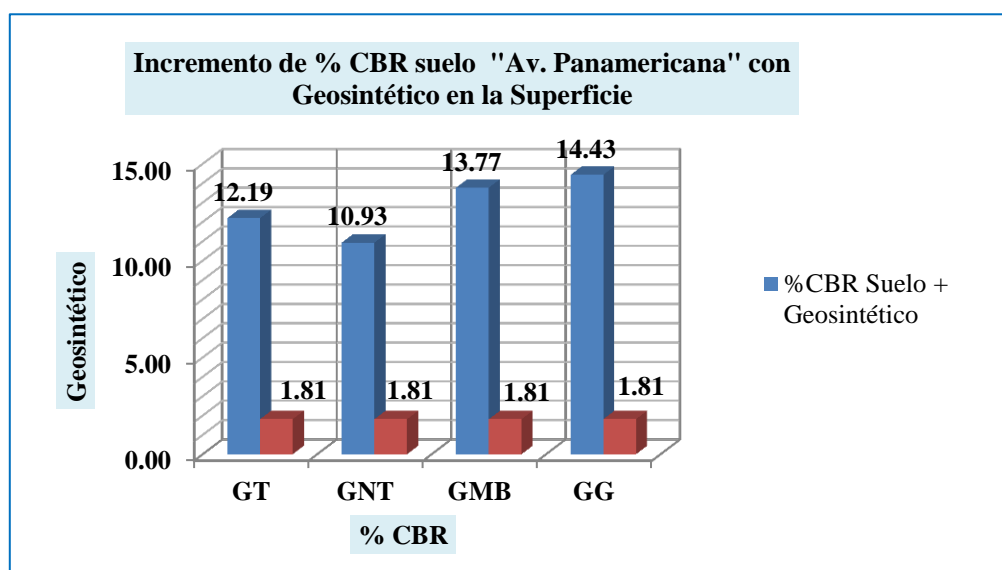
##### a. Geosintético aplicado en la superficie

Tabla 4.3. Incremento del valor CBR en la subrasante “Av. Panamericana”

Geosintético	%CBR		Incremento
	Suelo natural	Suelo + Geosintético	
GT	1.81	12.19	10.38
GNT		10.93	9.12
GMB		13.77	11.96
GG		14.43	12.62

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.3. Incremento de %CBR suelo natural “Av. Pan.” con Geosintético



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.3. y Gráfica 4.3. se puede ver un aumento del valor de % CBR del suelo subrasante natural procedente de la “Av. Panamericana” con la aplicación de los distintos geosintéticos en la superficie del suelo.

Se logró el objetivo que es el aumentar la capacidad portante, el %CBR del suelo procedente de “Av. Panamericana” en su estado natural 1.81 % con la aplicación de los geosintéticos se logró aumentar el %CBR, con el Geotextil Tejido 12.19%, Geotextil no Tejido 10.93%, Geomalla Biaxial 13.77% y Geogrilla 13.08%.

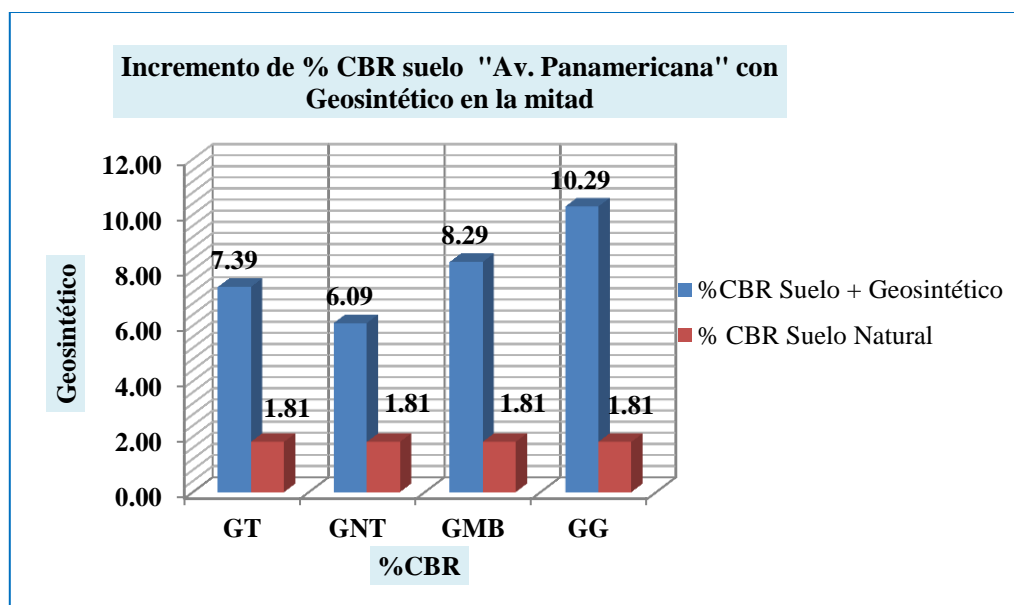
### b. Geosintético aplicado en la mitad

Tabla 4.4. Incremento del valor CBR en la subrasante “Av. Panamericana”

Geosintético	%CBR		Incremento
	Suelo natural	Suelo + Geosintético	
GT	1.81	7.39	5.58
GNT		6.09	4.28
GMB		8.29	6.48
GG		10.29	8.48

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.4. Incremento de %CBR suelo natural “Av. Pan.” con Geosintético



Fuente: Elaboración propia

Al igual que con los valores de %CBR obtenidos con el suelo de “Av. Panamericana”, los valores de la “Av. Panamericana” cuando se aplica el geosintético a la mitad se obtienen valores menores que cuando es aplicado en la superficie.

En la Tabla 4.4. y Gráfica 4.4. se puede deducir que el geosintético aplicado con mejores resultados es la Geogrilla que tuvo un incremento de 8.48%, luego la Geomalla Biaxial y el Geotextil Tejido, por último el geosintético con menor incremento es el Geotextil no tejido con un incremento de 4.28%.

Según los datos presentados en las tablas se observa que en todos los casos se logró un incremento del valor CBR previsto, aunque el algunos geosintéticos aumentó más la resistencia del suelo, pero según lo que se pretende mejorar que es la capacidad portante se debe considerar el aspecto que si se podrá aplicar el mismo proceso en el campo, de acuerdo a la siguiente lista el rendimiento del geosintético fue mayor:

Geogrilla - Geomalla Biaxial - Geotextil tejido - Geotextil no tejido

#### 4.2. Incremento de la compresión simple de la subrasante

El ensayo de Compresión simple nos permite conocer el último esfuerzo al que el suelo puede ser sometido antes de que exista una rotura, cuando hablamos de carreteras es muy importante evitar este problema ya que cuando se sobre pasa el valor del último esfuerzo existen fisuras que pueden reducir el tiempo de vida útil previsto de las carreteras.

##### a. Subrasante procedente de “Los Chapacos”

##### - Geosintético aplicado en la superficie

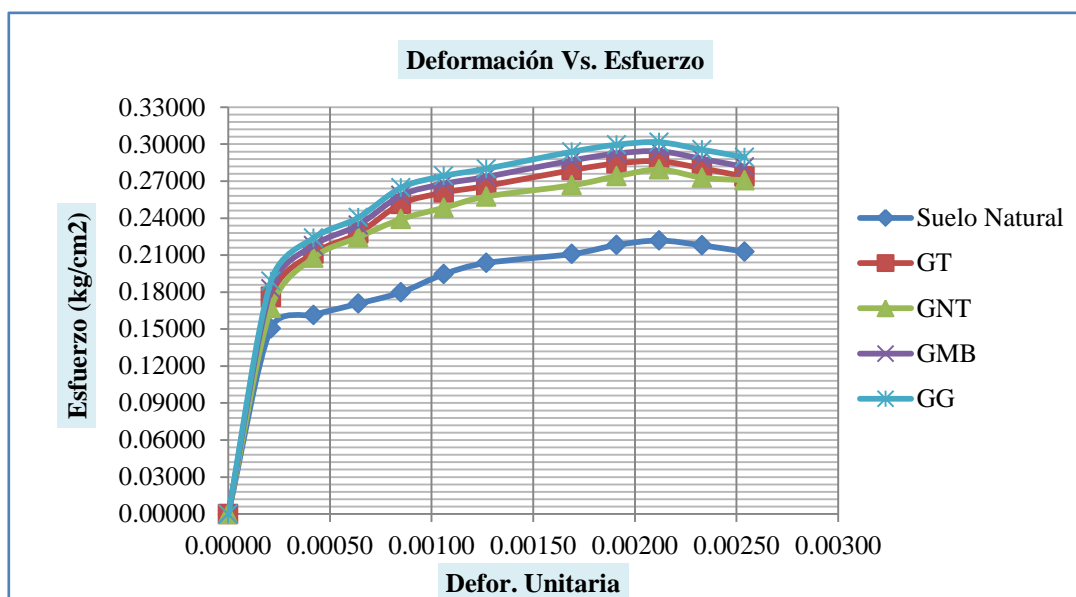
Tabla 4.5. Valores de esf. natural y esf. con la aplicación de geosintéticos en la sup.

Def. Unit.	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Suelo Natural	GT	GNT	GMB	GG
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.15045	0.17623	0.16702	0.18273	0.18878
0.00042	0.16147	0.21116	0.20791	0.21772	0.22382
0.00064	0.17063	0.22768	0.22451	0.23434	0.24049
0.00085	0.17980	0.25155	0.23922	0.25841	0.26471

0.00106	0.19447	0.26070	0.24837	0.26781	0.27428
0.00127	0.20363	0.26616	0.25753	0.27348	0.28010
0.00169	0.21090	0.27892	0.26665	0.28677	0.29386
0.00191	0.21820	0.28437	0.27397	0.29237	0.29954
0.00212	0.22183	0.28615	0.27942	0.29426	0.30158
0.00233	0.21791	0.28039	0.27285	0.28808	0.29553
0.00254	0.21281	0.27366	0.27077	0.28156	0.28937

*Fuente: Elaboración propia*

*Gráfica 4.5. Incremento del esf. Natural con el Geosintético en la Superficie*



*Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 4.5 y Gráfica 4.5 se pueden ver los incrementos de los esfuerzos con la aplicación de los geosintéticos en la superficie.

El esfuerzo último antes de la rotura del suelo procedente de “Los Chapacos” en su estado natural  $0.222 \text{ Kg/cm}^2$  con la aplicación de los geosintéticos se logró aumentar el valor del esfuerzo último, con el Geotextil Tejido  $0.286 \text{ Kg/cm}^2$ , Geotextil no Tejido  $0.279 \text{ Kg/cm}^2$ , Geomalla Biaxial  $0.294 \text{ Kg/cm}^2$  y Geogrilla  $0.302 \text{ Kg/cm}^2$ .

De acuerdo a estos valores se mencionará los geosintéticos de acuerdo al mayor grado de efectividad: Geogrilla, geomalla, geotextil tejido y geotextil no tejido.

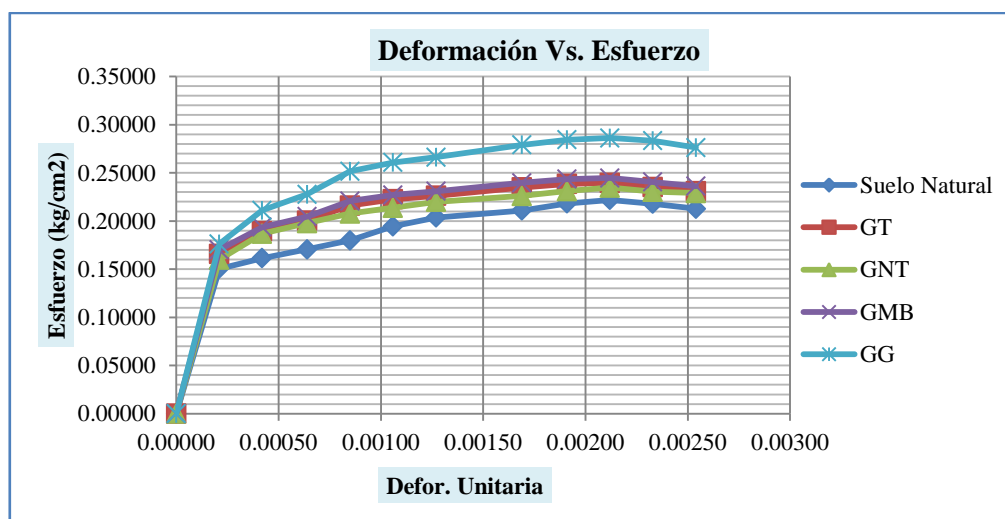
### - Geosintético aplicado en la mitad

Tabla 4.6. Valores de esfuerzo natural y esfuerzo con geosintético en la mitad

Def. Unit.	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Suelo Natural	GT	GNT	GMB	GG
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.15045	0.16598	0.15986	0.17028	0.17623
0.00042	0.16147	0.18934	0.18687	0.19359	0.21116
0.00064	0.17063	0.20035	0.19786	0.20468	0.22768
0.00085	0.17980	0.21609	0.20770	0.22074	0.25155
0.00106	0.19447	0.22260	0.21382	0.22702	0.26070
0.00127	0.20363	0.22628	0.21992	0.23082	0.26616
0.00169	0.21090	0.23484	0.22605	0.23967	0.27892
0.00191	0.21820	0.23851	0.23093	0.24342	0.28437
0.00212	0.22183	0.23960	0.23467	0.24466	0.28615
0.00233	0.21791	0.23533	0.23039	0.24053	0.28332
0.00254	0.21281	0.23084	0.22900	0.23614	0.27615

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.6. Incremento del esfuerzo de “Los Chapacos”



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.6 y Gráfica 4.6 se observan los incrementos de los esfuerzos con la aplicación de los geosintéticos en la mitad, es importante hacer notar que estos valores son menores que los obtenidos cuando se aplica el geosintético en la superficie. De acuerdo a estos valores se mencionará los geosintéticos de acuerdo al

mayor grado de efectividad: Geogrilla con un esfuerzo de 0.28615 kg/cm<sup>2</sup>, Geomalla Biaxial, Geotextil Tejido y por último el Geotextil no tejido con un esfuerzo de 0.23467 kg/cm<sup>2</sup>.

### b. Subrasante procedente de “Av. Panamericana”

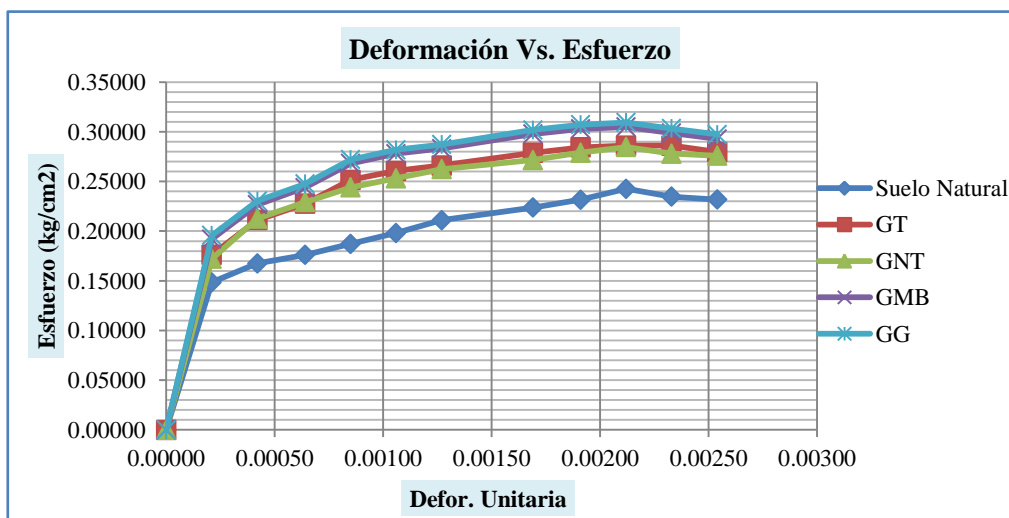
#### - Geosintético aplicado en la superficie

Tabla 4.7. Valores de esfuerzo natural y esfuerzo con geosintético en la sup

Def. Unit.	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Suelo Natural	GT	GNT	GMB	GG
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.14861	0.17623	0.17215	0.19202	0.19566
0.00042	0.16760	0.21116	0.21268	0.22670	0.23042
0.00064	0.17615	0.22768	0.22930	0.24382	0.24756
0.00085	0.18716	0.25155	0.24403	0.26824	0.27203
0.00106	0.19815	0.26070	0.25321	0.27808	0.28190
0.00127	0.21099	0.26616	0.26242	0.28320	0.28714
0.00169	0.22376	0.27892	0.27157	0.29779	0.30189
0.00191	0.23168	0.28437	0.27899	0.30294	0.30725
0.00212	0.24266	0.28615	0.28458	0.30499	0.30944
0.00233	0.23467	0.28615	0.27803	0.29887	0.30335
0.00254	0.23177	0.27959	0.27594	0.29291	0.29737

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.7. Incremento del esfuerzo de “Av. Panamericana”



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.7 y Gráfica 4.7 se pueden ver los incrementos de los esfuerzos con la aplicación de los geosintéticos en la superficie.

Lo mismo sucede con el suelo procedente de “Av. Panamericana” se logró el objetivo que es el aumentar el esfuerzo último, el valor del esfuerzo del suelo procedente de “Av. Panamericana” en su estado natural  $0.243 \text{ Kg/cm}^2$  con la aplicación de los geosintéticos se logró aumentar el valor, con el Geotextil Tejido  $0.286 \text{ Kg/cm}^2$ , Geotextil no Tejido  $0.285 \text{ Kg/cm}^2$ , Geomalla Biaxial  $0.305 \text{ Kg/cm}^2$  y Geogrilla  $0.309 \text{ Kg/cm}^2$ . De acuerdo a estos valores se mencionará los geosintéticos de acuerdo al mayor grado de efectividad: Geomalla Biaxial, Geotextil Tejido y por último el Geotextil no tejido.

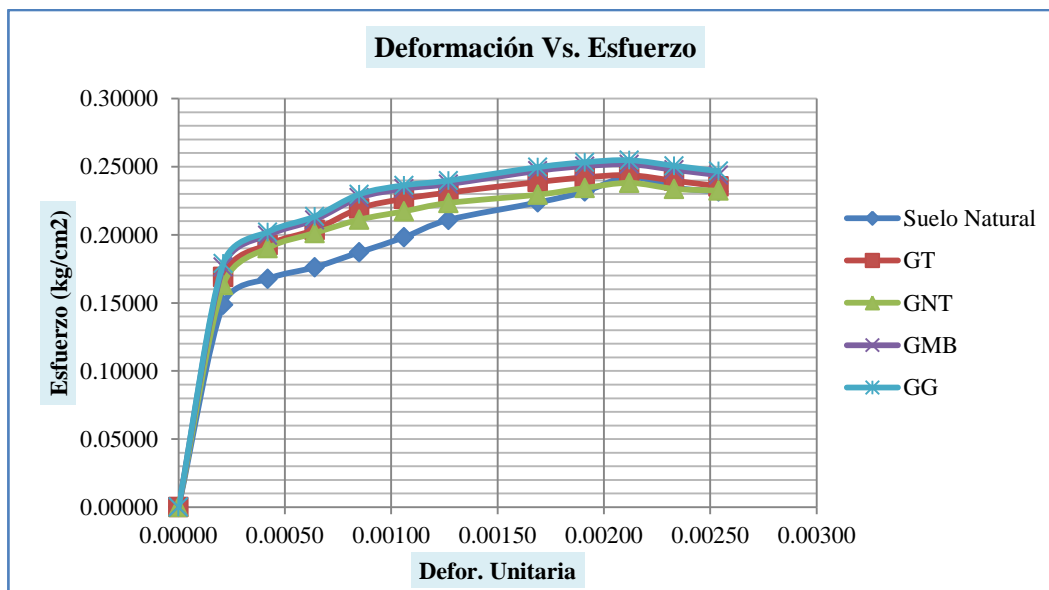
- **Geosintético aplicado en la mitad**

*Tabla 4.8. Valores de esfuerzo natural de y esfuerzo con geosintético en la mitad*

Def. Unit.	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Suelo Natural	GT	GNT	GMB	GG
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.14861	0.16903	0.16320	0.17644	0.17888
0.00042	0.16760	0.19259	0.19022	0.19955	0.20204
0.00064	0.17615	0.20370	0.20131	0.21097	0.21347
0.00085	0.18716	0.21936	0.21113	0.22725	0.22978
0.00106	0.19815	0.22647	0.21725	0.23382	0.23636
0.00127	0.21099	0.23104	0.22338	0.23725	0.23985
0.00169	0.22376	0.23876	0.22948	0.24699	0.24968
0.00191	0.23168	0.24217	0.23440	0.25043	0.25327
0.00212	0.24266	0.24380	0.23813	0.25181	0.25477
0.00233	0.23467	0.23972	0.23377	0.24773	0.25070
0.00254	0.23177	0.23563	0.23239	0.24380	0.24673

*Fuente: Elaboración propia*

Gráfica 4.8. Incremento del esfuerzo con Geosintético en la mitad



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.8 y Gráfica 4.8 se observan los incrementos de los esfuerzos con la aplicación de los geosintéticos en la mitad, es importante hacer notar que estos valores son menores que los obtenidos cuando se aplica el geosintético en la superficie

De acuerdo a estos valores se mencionará los geosintéticos de acuerdo al mayor grado de efectividad: Geogrilla con un esfuerzo de 0.25477kg/cm<sup>2</sup>, Geomalla Biaxial, Geotextil Tejido y por último el Geotextil no tejido con un esfuerzo de 0.23813kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3. Reducción del % de expansión del suelo subrasante

Para que una carretera cumpla con su etapa de vida útil planificada no se debe pasar por alto la expansión que la capa subrasante pueda tener, ya que esto puede generar problemas de fisuras o agrietamientos.

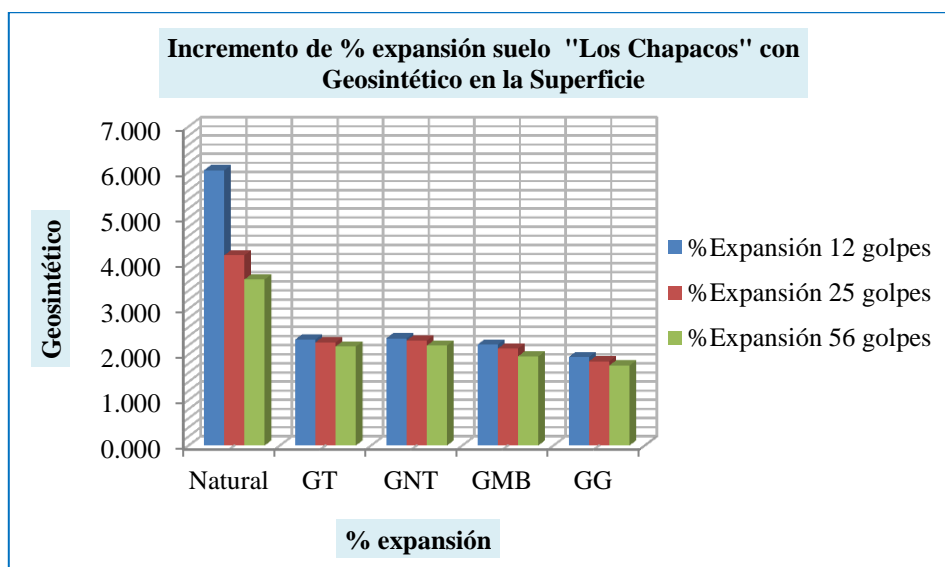
**a. Subrasante procedente de “Los Chapacos”**

**- Geosintético aplicado en la superficie**

*Tabla 4.9. % Expansión en la subrasante “Los Chapacos”*

Geosintético	%Expansión		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Natural	6.037	4.171	3.641
GT	2.323	2.261	2.171
GNT	2.351	2.302	2.192
GMB	2.212	2.124	1.954
GG	1.940	1.847	1.755

*Gráfica 4.9. Reducción de % de expansión “Los Chapacos” con Geosintético*



*Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 4.9 y Gráfica 4.9 se evidencia una disminución del % de expansión cuando se aplica el geosintético en la superficie comparado con el % de expansión del suelo natural, se observan los valores de expansión cuando se somete al suelo a 12, 25 y 56 golpes.

El geosintético con mayor efectividad es la Geogrilla ya que disminuye la expansión un 1.886% , luego la Geomalla Biaxial, Geotextil tejido y el de menor efectividad el Geotextil no tejido ya que tan solo disminuye la expansión un 1.449%.

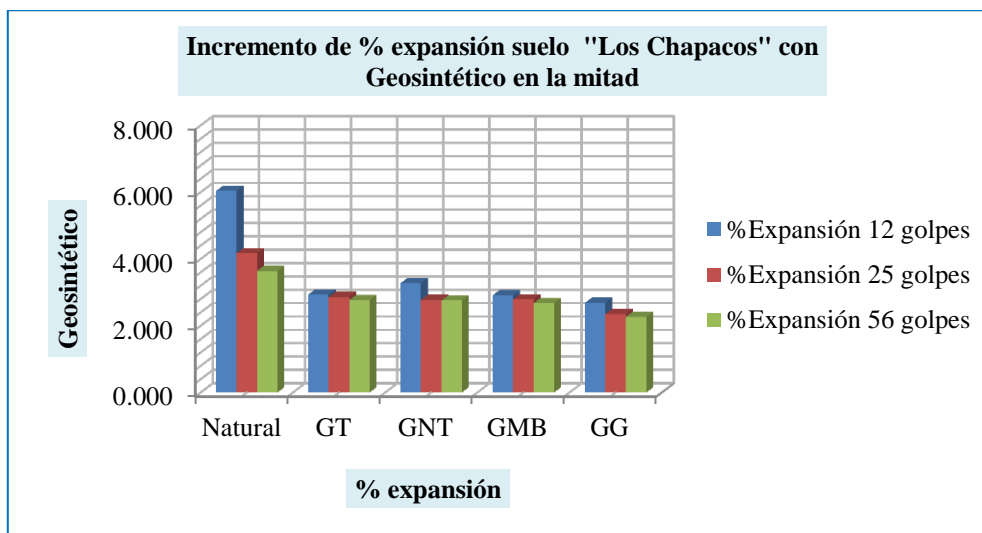
- **Geosintético aplicado en la mitad**

Tabla 4.10. % Expansión en la subrasante "Los Chapacos"

Geosintético	%Expansión		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Natural	6.037	4.171	3.641
GT	2.934	2.863	2.767
GNT	3.273	2.775	2.758
GMB	2.912	2.792	2.677
GG	2.685	2.351	2.265

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.10. Reducción de % de expansión "Los Chapacos" con Geosintético



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.10 y Gráfica 4.10 se evidencia una disminución del % de expansión cuando se aplica el geosintético en la mitad comparado con el % de expansión del suelo natural, pero es menor al obtenido cuando se aplica en la superficie, se observan los valores de expansión cuando se somete al suelo a 12, 25 y 56 golpes.

El geosintético con mayor efectividad es la Geogrilla ya que disminuye la expansión un 1.376% , luego la Geomalla Biaxial, Geotextil no tejido y el de menor efectividad el Geotextil tejido ya que tan solo disminuye la expansión un 0.874%.

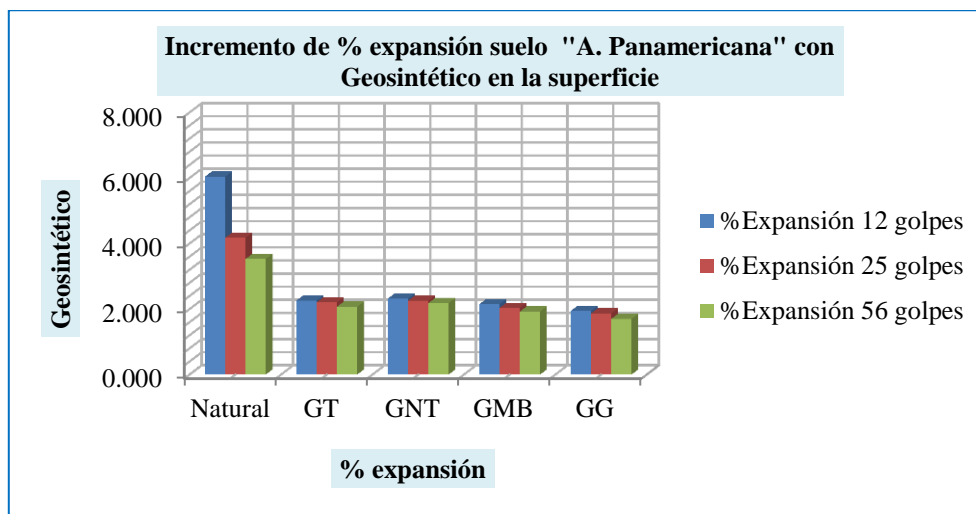
## b. Subrasante procedente de “Av. Panamericana”

### - Geosintético aplicado en la superficie

Tabla 4.11. % Expansión en la subrasante “Av. Panamericana”

Geosintético	%Expansión		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Natural	6.037	4.171	3.525
GT	2.255	2.205	2.070
GNT	2.317	2.253	2.180
GMB	2.143	2.028	1.922
GG	1.939	1.864	1.697

Gráfica 4.11. Reducción de % de expansión “Av. Panamericana” con Geosintético



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.11 y Gráfica 4.11 se evidencia una disminución del % de expansión cuando se aplica el geosintético en la superficie comparado con el % de expansión del suelo natural, se observan los valores de expansión cuando se somete al suelo a 12, 25 y 56 golpes.

El geosintético con mayor efectividad es la Geogrilla ya que disminuye la expansión un 1.828% , luego la Geomalla Biaxial, Geotextil tejido y el de menor efectividad el Geotextil no tejido ya que tan solo disminuye la expansión un 1.3459%.

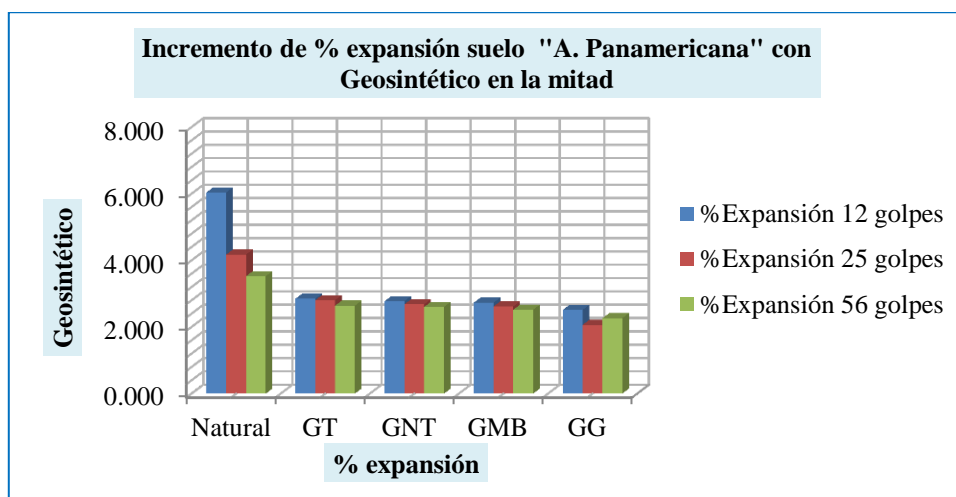
- **Geosintético aplicado en la mitad**

Tabla 4.12. % Expansión en la subrasante "Av. Panamericana"

Geosintético	%Expansión		
	12 golpes	25 golpes	56 golpes
Natural	6.037	4.171	3.525
GT	2.852	2.805	2.642
GNT	2.775	2.681	2.604
GMB	2.730	2.617	2.520
GG	2.516	2.062	2.265

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.12. Reducción de % de expansión "Av. Panamericana" con Geosintético



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.12 y Gráfica 4.12 se evidencia una disminución del % de expansión cuando se aplica el geosintético en la mitad comparado con el % de expansión del suelo natural, pero es menor al obtenido cuando se aplica en la superficie, se observan los valores de expansión cuando se somete al suelo a 12, 25 y 56 golpes.

El geosintético con mayor un 1.260% , luego la Geomalla Biaxial, Geotextil no tejido y el de menor efectividad el Geotextil tejido ya que tan solo disminuye la expansión un 0.883%.efectividad es la Geogrilla ya que disminuye la expansión

#### 4.4. Comparación de los %CBR con geosintético aplicado en la superficie y la mitad

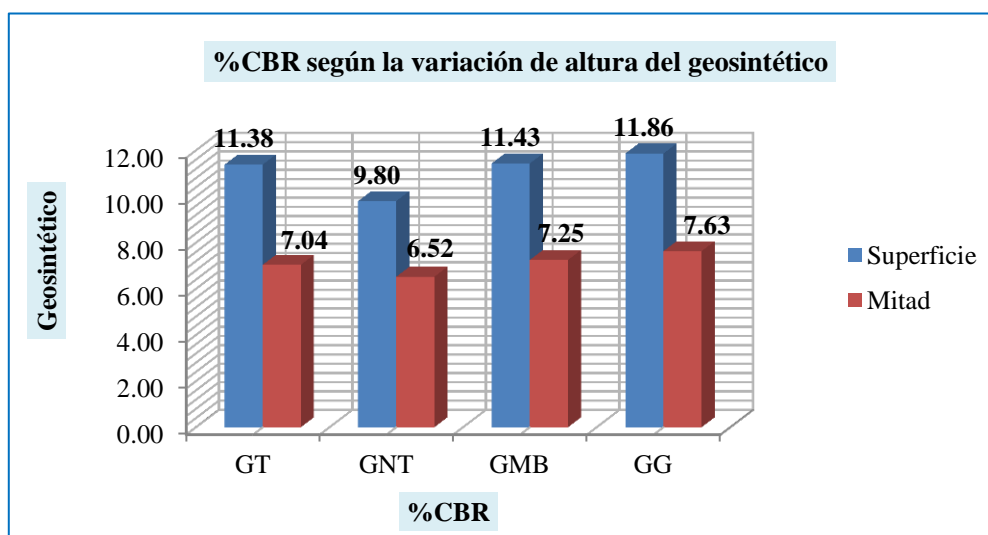
##### a. Subrasante procedente de “Los Chapacos”

Tabla 4.13. %CBR dependiendo de la altura de geosintético en la subrasante “Los Chapacos”

Geosintético	Aplicación del Geosintético		Diferencia
	Superficie	Mitad	
GT	11.38	7.04	4.34
GNT	9.80	6.52	3.28
GMB	11.43	7.25	4.18
GG	11.86	7.63	4.23

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.13. % CBR según la variación de altura de geosintético



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.13 y Gráfica 4.13 se puede ver la mayor efectividad del geosintético se obtiene cuando se lo aplica en la superficie, de esa manera se logra aprovechar de mejor manera sus propiedades físicas y mecánicas.

Los resultados en ambos casos de mayor a menor efectividad son los obtenidos con la Geogrilla, Geomalla Biaxial, Geotextil tejido y Geotextil no tejido.

La mejor opción es colocar el geosintético en la superficie y esto se comprueba con los resultados, los resultados cuando se coloca el geosintético a la mitad de la subrasante del suelo procedente de “Los Chapacos” con el Geotextil Tejido 7.04%, Geotextil no Tejido 6.52%, Geomalla Biaxial 7.25% y Geogrilla 7.63%, los resultados cuando se coloca el geosintético en la superficie Geotextil Tejido 11.38%, Geotextil no Tejido 9.80%, Geomalla Biaxial 11.43% y Geogrilla 11.86%.

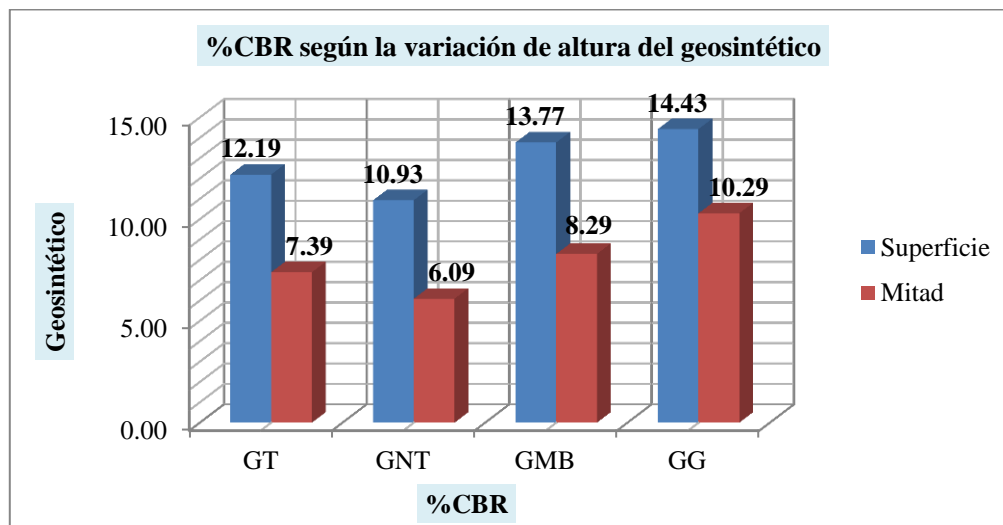
### b. Subrasante procedente de “Av. Panamericana”

Tabla 4.14. %CBR dependiendo de la altura de geosintético en la subrasante “Av. Panamericana”

Geosintético	Aplicación del Geosintético		Diferencia
	Superficie	Mitad	
GT	12.19	7.39	4.80
GNT	10.93	6.09	4.84
GMB	13.77	8.29	5.48
GG	14.43	10.29	4.14

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.14. % CBR según la variación de altura de geosintético



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.14 y Gráfica 4.14 se puede ver la mayor efectividad del geosintético se obtiene cuando se lo aplica en la superficie, de esa manera se logra aprovechar de mejor manera sus propiedades físicas y mecánicas.

Los resultados cuando se coloca el geosintético en la mitad son menores de cuando se coloca en la superficie y esto se evidencia con los resultados, el suelo procedente de “Av. Panamericana” con el Geotextil Tejido 7.39%, Geotextil no Tejido 6.09%, Geomalla Biaxial 8.29% y Geogrilla 10.29%, los resultados cuando se coloca el geosintético en la superficie Geotextil Tejido 12.19%, Geotextil no Tejido 10.93%, Geomalla Biaxial 13.08% y Geogrilla 14.43%.

Los resultados en ambos casos de mayor a menor efectividad son los obtenidos con la Geogrilla, Geomalla Biaxial, Geotextil tejido y Geotextil no tejido.

#### **4.5. Comparación de los esfuerzos obtenidos con el geosintético en la superficie y la mitad**

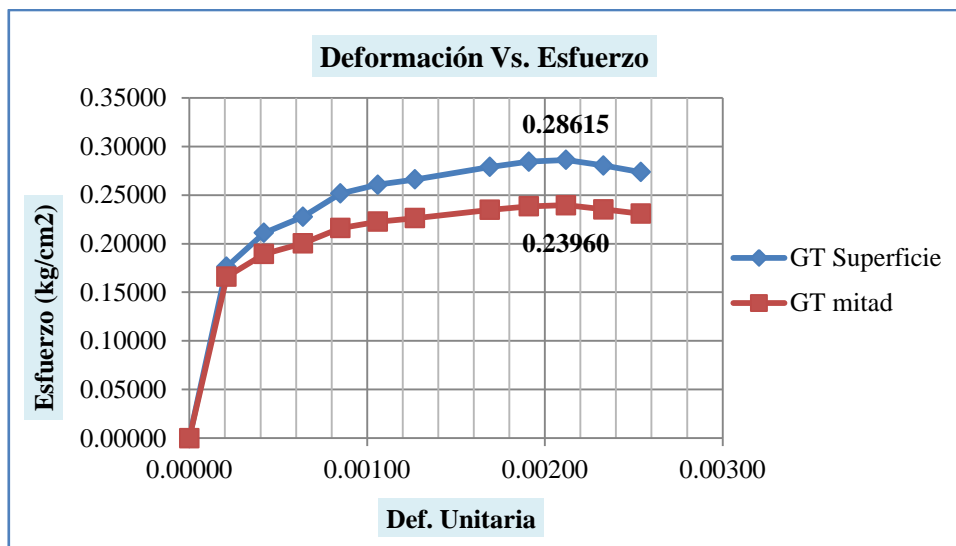
##### **a. Subrasante procedente de “Los Chapacos”**

*Tabla 4.15. Esfuerzos con la aplicación de Geotextil tejido en la superficie y la mitad en suelo “Los Chapacos”*

Def. Unitaria.	GT Superficie	GT mitad
0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.17623	0.16598
0.00042	0.21116	0.18934
0.00064	0.22768	0.20035
0.00085	0.25155	0.21609
0.00106	0.26070	0.22260
0.00127	0.26616	0.22628
0.00169	0.27892	0.23484
0.00191	0.28437	0.23851
0.00212	0.28615	0.23960
0.00233	0.28039	0.23533
0.00254	0.27366	0.23084

*Fuente: Elaboración propia*

Gráfica 4.15. Deformación – Esfuerzo con geotextil tejido



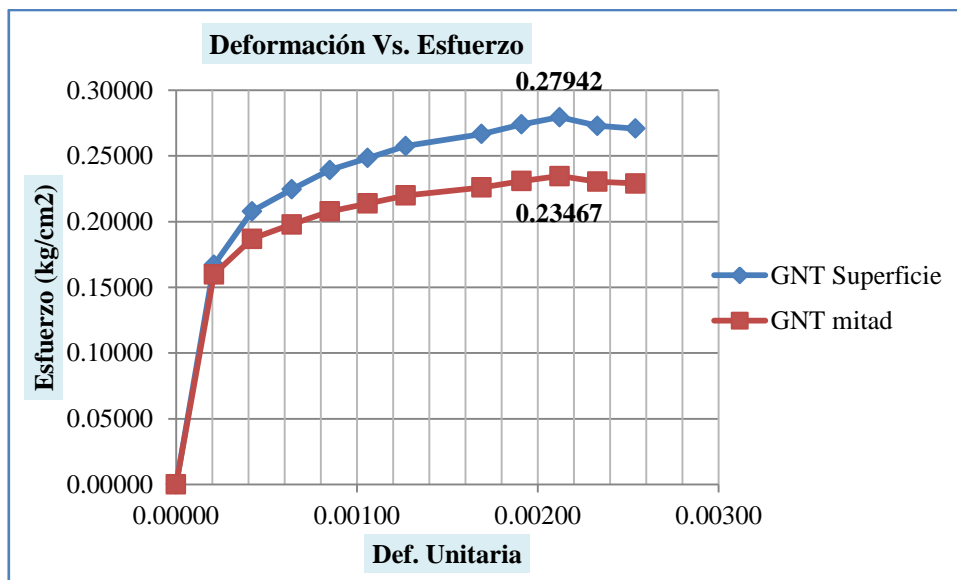
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.16. Esfuerzos con la aplicación de Geotextil no tejido en la superficie y la mitad en suelo “Los Chapacos”

Def. Unitaria.	GNT Superficie	GNT mitad
0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.16702	0.15986
0.00042	0.20791	0.18687
0.00064	0.22451	0.19786
0.00085	0.23922	0.20770
0.00106	0.24837	0.21382
0.00127	0.25753	0.21992
0.00169	0.26665	0.22605
0.00191	0.27397	0.23093
0.00212	0.27942	0.23467
0.00233	0.27285	0.23039
0.00254	0.27077	0.22900

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.16. Deformación – Esfuerzo con geotextil no tejido



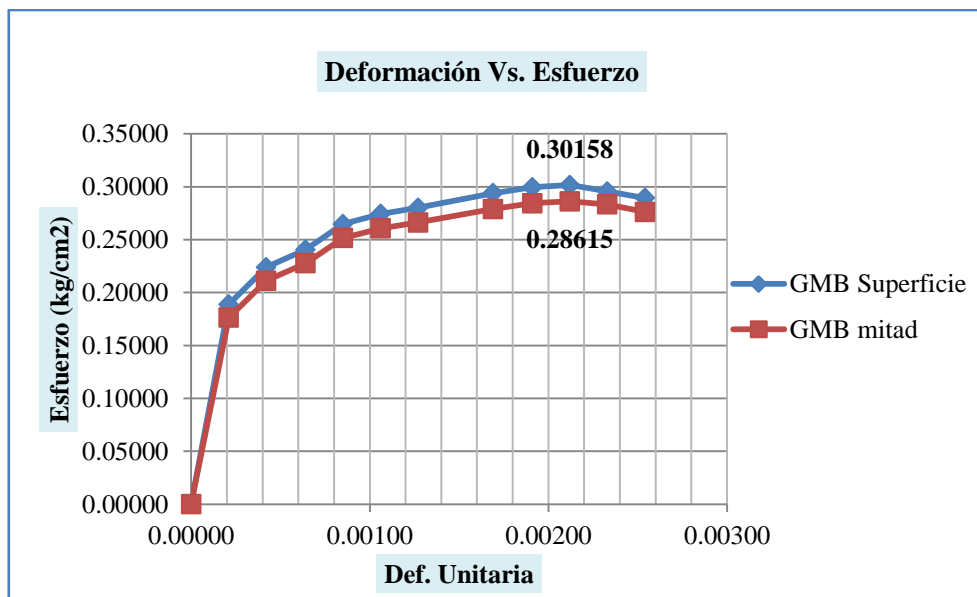
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.17. Esfuerzos con la aplicación de Geomalla Biaxial en la superficie y la mitad en suelo “Los Chapacos”

Def. Unitaria.	GMB Superficie	GMB mitad
0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.18878	0.17623
0.00042	0.22382	0.21116
0.00064	0.24049	0.22768
0.00085	0.26471	0.25155
0.00106	0.27428	0.26070
0.00127	0.28010	0.26616
0.00169	0.29386	0.27892
0.00191	0.29954	0.28437
0.00212	0.30158	0.28615
0.00233	0.29553	0.28332
0.00254	0.28937	0.27615

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.17. Deformación – Esfuerzo con Geomalla Biaxial



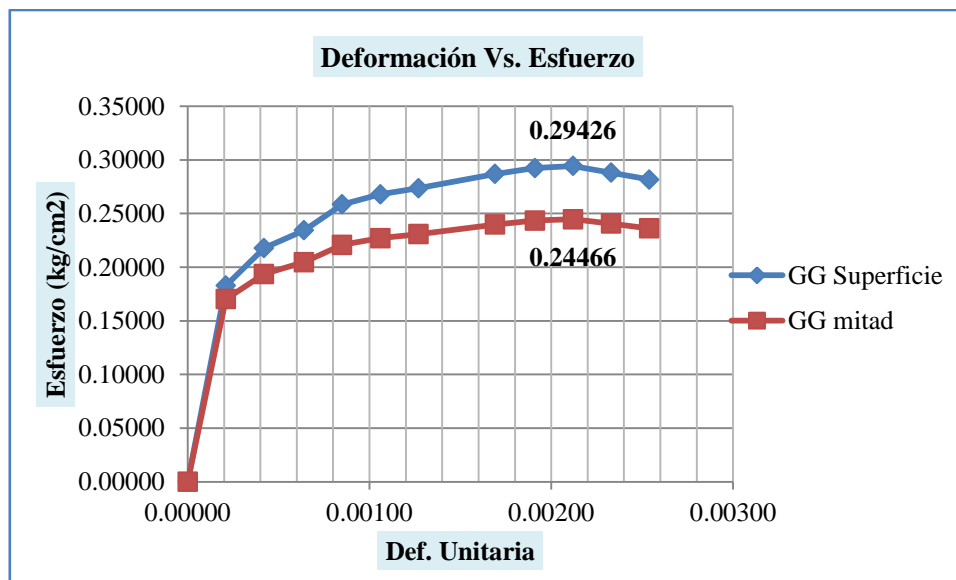
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.18. Esfuerzos con la aplicación de Geogrilla en la superficie y la mitad en suelo “Los Chapacos”

Def. Unitaria.	GG Superficie	GG mitad
0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.18273	0.17028
0.00042	0.21772	0.19359
0.00064	0.23434	0.20468
0.00085	0.25841	0.22074
0.00106	0.26781	0.22702
0.00127	0.27348	0.23082
0.00169	0.28677	0.23967
0.00191	0.29237	0.24342
0.00212	0.29426	0.24466
0.00233	0.28808	0.24053
0.00254	0.28156	0.23614

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.18. Deformación – Esfuerzo con Geogrilla



Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 4.15-4.16-4.17-4.18 y Gráficas 4.15 – 4.16 – 4.17 – 4.18 se verifica una vez más que para el suelo de “Los Chapacos” si se aplica el geosintético en la superficie se obtiene un mejor resultado.

Es conveniente por los resultados y la efectividad colocar el geosintético en la superficie y esto se comprueba con los resultados, los resultados cuando se coloca el geosintético a la mitad de la subrasante del suelo procedente de “Los Chapacos” con el Geotextil Tejido 0.239 Kg/cm<sup>2</sup>, Geotextil no Tejido 0.235 Kg/cm<sup>2</sup>, Geomalla Biaxial 0.245 Kg/cm<sup>2</sup> y Geogrilla 0.286 Kg/cm<sup>2</sup>, los resultados cuando se coloca el geosintético en la superficie Geotextil Tejido 0.286 Kg/cm<sup>2</sup>, Geotextil no Tejido 0.279 Kg/cm<sup>2</sup>, Geomalla Biaxial 0.294 Kg/cm<sup>2</sup> y Geogrilla 0.302 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los geosintéticos de mayor a menor efectividad son Geogrilla, Geomalla Biaxial, Geotextil Tejido y Geotextil no tejido.

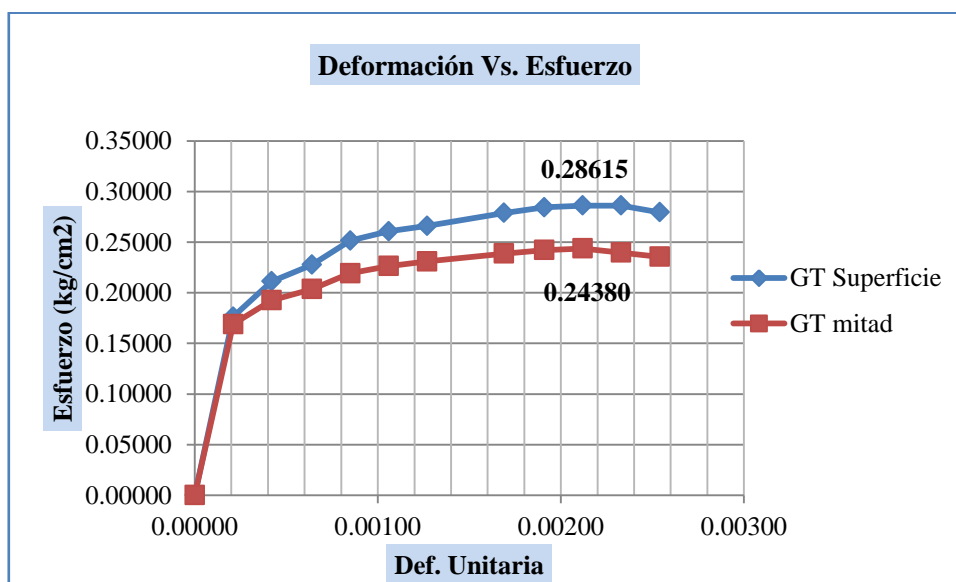
**b. Subrasante procedente de “Av. Panamericana”**

*Tabla 4.19. Esfuerzos con la aplicación de Geotextil tejido en la superficie y la mitad en suelo “Av. Panamericana”*

Def. Unitaria.	GT Superficie	GT mitad
0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.17623	0.16903
0.00042	0.21116	0.19259
0.00064	0.22768	0.20370
0.00085	0.25155	0.21936
0.00106	0.26070	0.22647
0.00127	0.26616	0.23104
0.00169	0.27892	0.23876
0.00191	0.28437	0.24217
0.00212	0.28615	0.24380
0.00233	0.28615	0.23972
0.00254	0.27959	0.23563

*Fuente: Elaboración propia*

*Gráfica 4.19. Deformación – Esfuerzo con geotextil tejido*



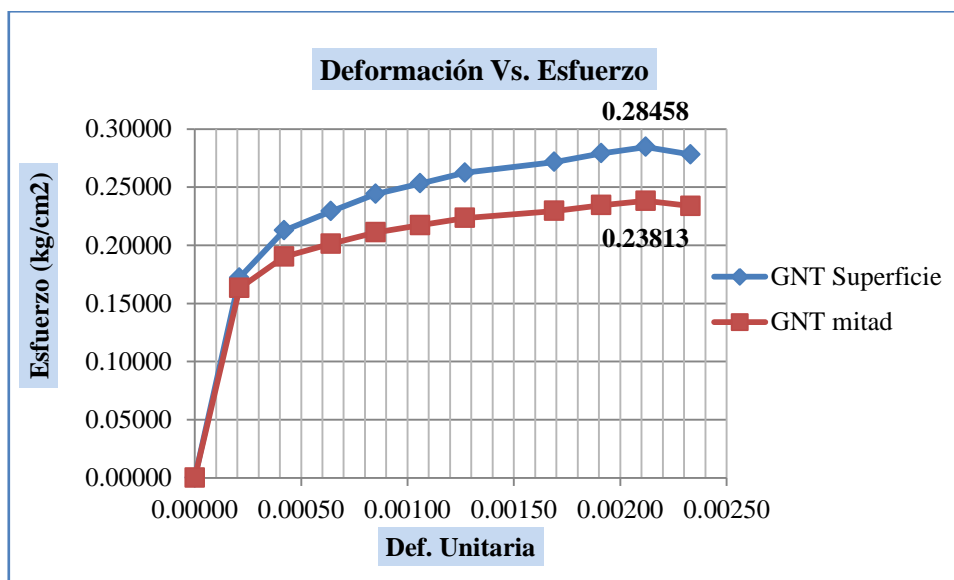
*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 4.20. Esfuerzos con la aplicación de Geotextil no tejido en la superficie y la mitad en suelo “Av. Panamericana”

Def. Unitaria.	GNT Superficie	GNT mitad
0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.17215	0.16320
0.00042	0.21268	0.19022
0.00064	0.22930	0.20131
0.00085	0.24403	0.21113
0.00106	0.25321	0.21725
0.00127	0.26242	0.22338
0.00169	0.27157	0.22948
0.00191	0.27899	0.23440
0.00212	0.28458	0.23813
0.00233	0.27803	0.23377
0.00254	0.27594	0.23239

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.20. Deformación – Esfuerzo con geotextil no tejido



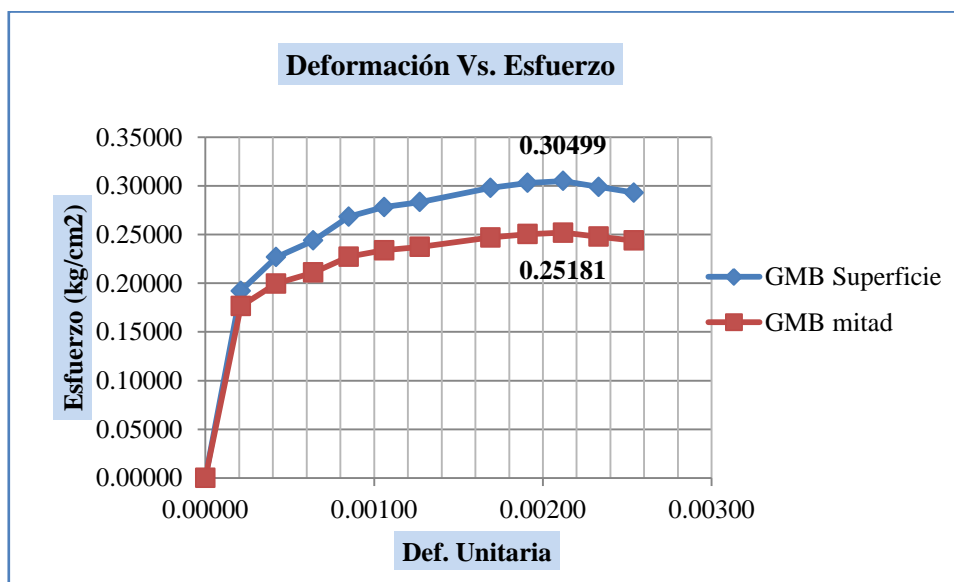
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.21. Esfuerzos con la aplicación de Geomalla Biaxial en la superficie y la mitad en suelo “Av. Panamericana”

Def. Unitaria.	GMB Superficie	GMB mitad
0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.19202	0.17644
0.00042	0.22670	0.19955
0.00064	0.24382	0.21097
0.00085	0.26824	0.22725
0.00106	0.27808	0.23382
0.00127	0.28320	0.23725
0.00169	0.29779	0.24699
0.00191	0.30294	0.25043
0.00212	0.30499	0.25181
0.00233	0.29887	0.24773
0.00254	0.29291	0.24380

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.21. Deformación – Esfuerzo con Geomalla Biaxial



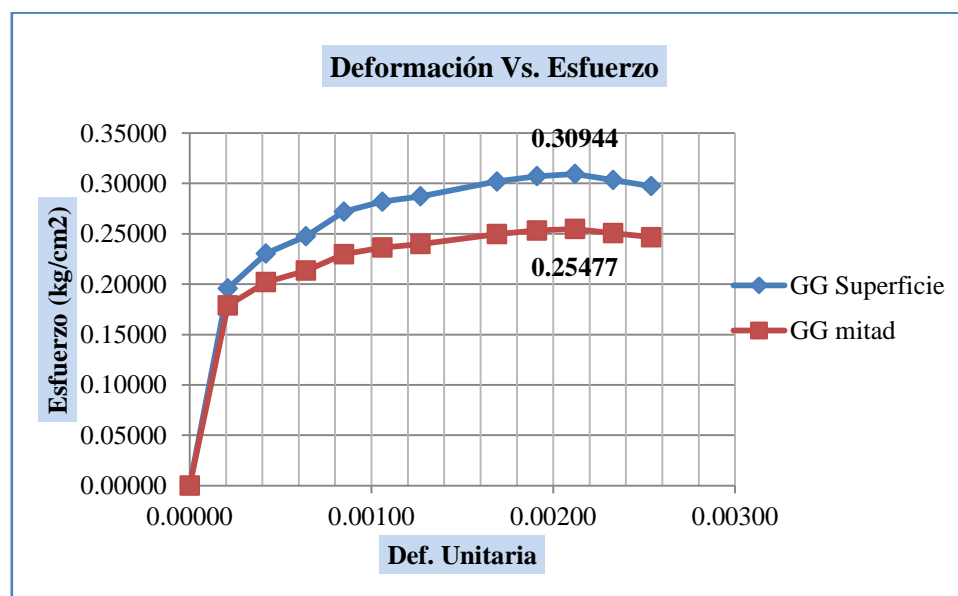
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.22. Esfuerzos con la aplicación de Geogrilla en la superficie y la mitad en suelo ““Av. Panamericana””

Def. Unitaria.	GG Superficie	GG mitad
0.00000	0.00000	0.00000
0.00021	0.19566	0.17888
0.00042	0.23042	0.20204
0.00064	0.24756	0.21347
0.00085	0.27203	0.22978
0.00106	0.28190	0.23636
0.00127	0.28714	0.23985
0.00169	0.30189	0.24968
0.00191	0.30725	0.25327
0.00212	0.30944	0.25477
0.00233	0.30335	0.25070
0.00254	0.29737	0.24673

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.22. Deformación – Esfuerzo con Geogrilla



Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 4.19-4.20-4.21-4.22 y Gráficas 4.19 – 4.20 – 4.21 – 4.22 se verifica una vez más que para el suelo de “Av. Panamericana” si se aplica el geosintético en la superficie se obtiene un mejor resultado.

La efectividad del geosintético cuando este es aplicado en la mitad es menor que cuando se coloca en la superficie y esto se evidencia con los resultados, el suelo procedente de “Av. Panamericana” con el Geotextil Tejido 0.244 Kg/cm<sup>2</sup>, Geotextil no Tejido 0.238 Kg/cm<sup>2</sup>, Geomalla Biaxial 0.252 Kg/cm<sup>2</sup> y Geogrilla 0.255 Kg/cm<sup>2</sup>, los resultados cuando se coloca el geosintético en la superficie Geotextil Tejido 0.286 Kg/cm<sup>2</sup>, Geotextil no Tejido 0.285 Kg/cm<sup>2</sup>, Geomalla Biaxial 0.305 Kg/cm<sup>2</sup> y Geogrilla 0.309 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los geosintéticos de mayor a menor efectividad son Geogrilla, Geomalla Biaxial, Geotextil Tejido y Geotextil no tejido.

#### 4.6. Comparación de la reducción de %expansión con geosintético aplicado en la superficie y la mitad

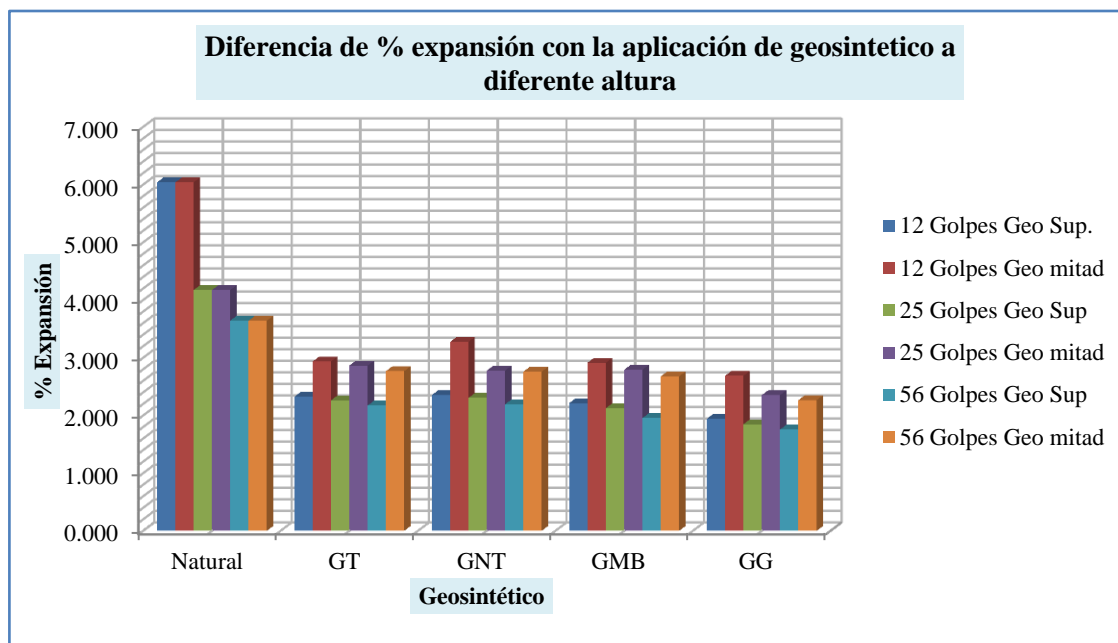
##### a. Subrasante procedente de “Los Chapacos”

Tabla 4.23. %expansión dependiendo de la altura de geosintético en la subrasante

Geosintético	%Expansión					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	Sup	Mitad	Sup	Mitad	Sup	Mitad
Natural	6.037	6.037	4.171	4.171	3.641	3.641
GT	2.323	2.934	2.261	2.863	2.171	2.767
GNT	2.351	3.273	2.302	2.775	2.192	2.758
GMB	2.212	2.912	2.124	2.792	1.954	2.677
GG	1.940	2.685	1.847	2.351	1.755	2.265

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.23. % expansión según la variación de altura de geosintético



Fuente: Elaboración propia

En las Tabla 4.23 y Gráfica 4.23 comprueban que para el suelo de “Los Chapacos” si se aplica el geosintético en la superficie se obtiene un mejor resultado.

Los geosintéticos de mayor a menor efectividad son Geogrilla, Geomalla Biaxial, Geotextil Tejido y Geotextil no tejido, ya que obtienen menores % de expansión.

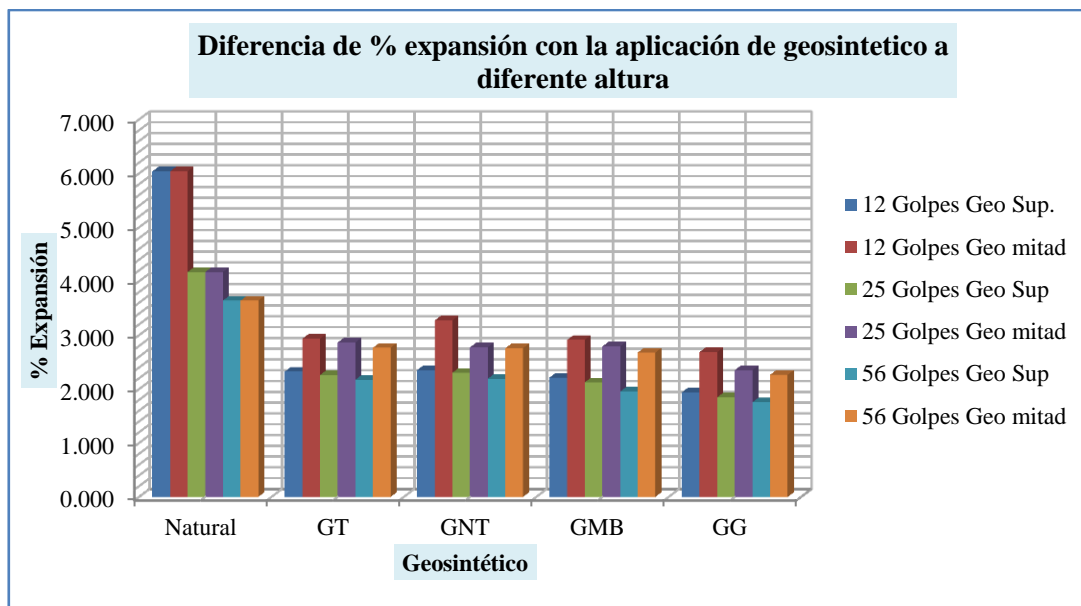
#### b. Subrasante procedente de “Av. Panamericana”

Tabla 4.24. %expansión dependiendo de la altura de geosintético en la subrasante

Geosintético	%Expansión					
	12 golpes		25 golpes		56 golpes	
	Sup	Mitad	Sup	Mitad	Sup	Mitad
Natural	6.037	6.037	4.171	4.171	3.641	3.641
GT	2.323	2.934	2.261	2.863	2.171	2.767
GNT	2.351	3.273	2.302	2.775	2.192	2.758
GMB	2.212	2.912	2.124	2.792	1.954	2.677
GG	1.940	2.685	1.847	2.351	1.755	2.265

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.24. % expansión según la variación de altura de geosintético



*Fuente: Elaboración propia*

En las Tabla 4.24 y Gráfica 4.24 comprueban que para el suelo de “Av. Panamericana” si se aplica el geosintético en la superficie se obtiene un mejor resultado.

Los geosintéticos de mayor a menor efectividad son Geogrilla, Geomalla Biaxial, Geotextil Tejido y Geotextil no tejido, ya que obtienen menores % de expansión.

#### **4.7. Análisis de la posición del geosintético más efectivo**

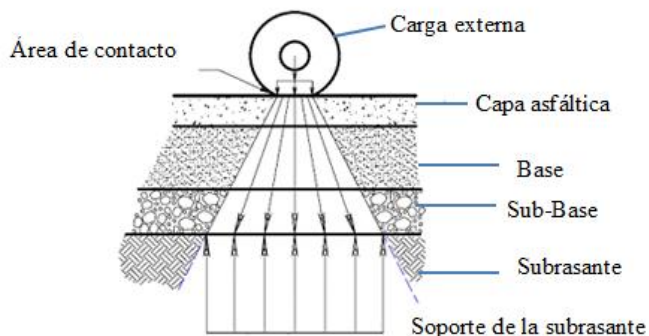
##### **a. Considerando los valores que más se adecuen a la realidad**

Según los valores obtenidos y de acuerdo a las tablas mostradas anteriormente se podría decir que cuando colocamos el geosintético en la superficie tienen mejores resultados ya que estos resultados son mayores comparados con los obtenidos cuando se coloca en la mitad.

Pero antes de decidir qué posición del geosintético es la más adecuada, debemos verificar cuál de los dos sistemas propuestos es el que más se asemeja al comportamiento de un paquete estructural. Cuando analizamos el comportamiento de

un paquete estructural y aplicamos una carga externa, se puede ver que los esfuerzos normales que se generan son distribuidos hacia todas las capas (Figura N°4.3)

*Figura N°4.3. Distribución de esfuerzos pavimento flexible*

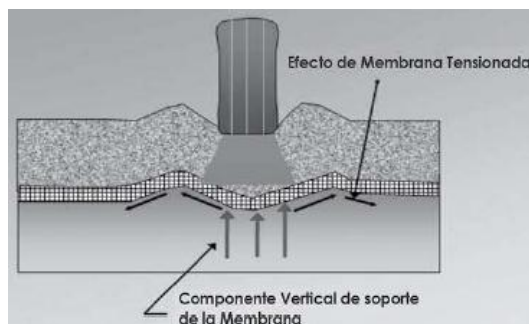


*Fuente: Elaboración propia*

Cuando aplicamos el geosintético para reforzar la subrasante, se producen dos efectos:

*Efecto de la membrana tensionada.*- El esfuerzo normal en la parte cóncava es mayor que en la convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la geosintético hacia la subrasante es menor que el esfuerzo transmitido por el geosintético. (Ver Figura N° 4.4)

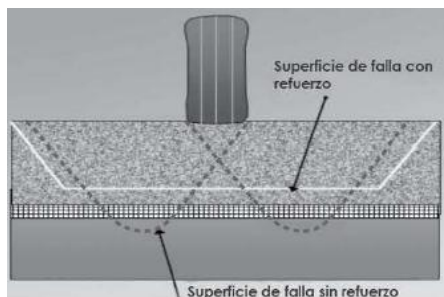
*Figura N°4.4. Membrana tensionada*



*Fuente: Manual de diseño con geosintéticos PAVCO-Novena edición*

*Mejoramiento de la capacidad portante.*- Se desplaza la falla de superficie del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular que es de mayor resistencia.

*Figura N°4.5. Superficie de falla*



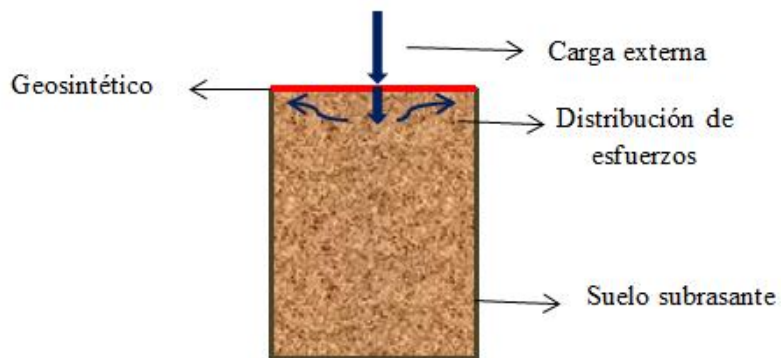
*Fuente: Manual de diseño con geosintéticos PAVCO-Novena edición*

Teniendo en consideración estos aspectos se determinará cuál de los dos modelos propuestos se adecuan más al comportamiento real de un pavimento.

*Distribución de esfuerzos en el sistema generado con geosintético en la superficie*

En este sistema el geosintético recibe directamente la carga puntual externa aplicada, por lo tanto este sistema no reproduce el comportamiento de la distribución de los esfuerzos generados en un paquete estructural real.

*Figura N°4.6. Geosintético en la superficie*



*Fuente: Elaboración propia*

Podemos deducir de los resultados de %CBR de mayor efectividad es la geogrilla ya que la disposición de la abertura de sus grillas es mucho menor, por lo tanto cuando aplicamos una carga en un área donde las grillas se encuentran más unidas la resistencia será mayor, así como su distribución de esfuerzos.

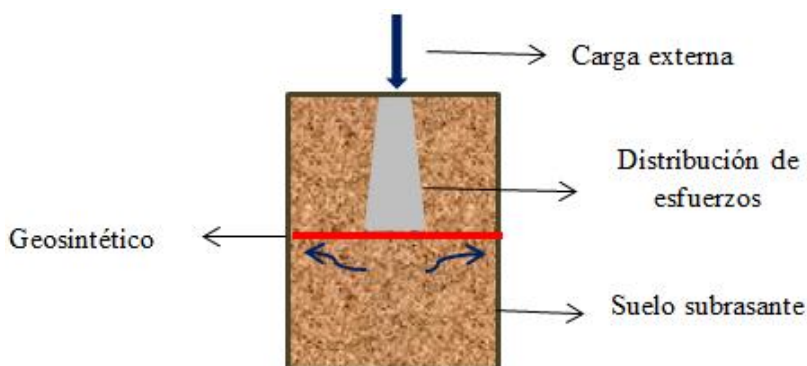
En el caso de las geomallas la abertura de las grillas es mucho mayor por lo tanto cuando aplicamos la carga de la prensa de CBR, no reproduce la distribución de los esfuerzos a todas las grillas ya el espacio donde se realiza es muy pequeño y las aberturas muy grandes.

*Distribución de esfuerzos en el sistema generado con geosintético en la mitad*

En este sistema podemos ver que el geosintético no recibe directamente la carga puntual externa aplicada, por lo tanto este sistema reproduce el comportamiento de la distribución de los esfuerzos generados en un paquete estructural real.

Al aplicar la carga sobre la primera capa de la subrasante permite actuar al geosintético, es decir, distribuir los esfuerzos normales a la segunda capa de subrasante, de esa manera simular como si estuviera en un pavimento real.

*Figura N°4.7. Geosintético en la mitad*



*Fuente: Elaboración propia*

Según el análisis se puede asegurar que cuando aplicamos el geosintético en la mitad a pesar que los valores de %CBR son menores, son valores que se acomodan más a las condiciones reales de un pavimento en cuanto a la distribución de los esfuerzos.

**b. Considerando el aprovechamiento de otras funciones del geosintético**

Como se explicó en la teoría un geosintético puede cumplir varias funciones a la vez, esto dependerá de la aplicación que se dé a cada geosintético.

Si aplicamos el geosintético en la superficie de la subrasante se pueden aprovechar otras funciones como se muestra en el Cuadro N°4.1.

*Cuadro N°4.1. Funciones del geosintético cuando se aplica en la superficie*

Geosintético	Funciones		
	Refuerzo	Separación	Filtración
Geotextil Tejido	X	X	X
Geotextil No Tejido	X	X	X
Geomalla Biaxial	X	X	
Geogrilla	X	X	

*Fuente: Elaboración propia*

Si aplicamos el geosintético en la mitad de la subrasante se pueden aprovechar otras funciones como se muestra en el Cuadro N°4.2.

*Cuadro N°4.2. Funciones del geosintético cuando se aplica en la mitad*

Geosintético	Funciones	
	Refuerzo	Filtración
Geotextil Tejido	X	X
Geotextil No Tejido	X	X
Geomalla Biaxial	X	
Geogrilla	X	

*Fuente: Elaboración propia*

Cuando aplicamos el geosintético en la superficie de la estructural del pavimento se aprovechan más funciones que cuando lo aplicamos en la mitad.

El colocado en obra de los geosintéticos es más conveniente cuando lo aplicamos en la superficie de la subrasante.

#### **4.8. Costos**

Para determinar la viabilidad de un proyecto se deben considerar los costos.

Los precios referenciales de los geosintéticos utilizados en el proyecto (Ver Cuadro N°4.3)

*Cuadro N°4.3. Funciones del geosintético cuando se aplica en la mitad*

Geosintético (m <sup>2</sup> )	Precio Bs.	Precio \$
Geotextil Tejido	65	9.33
Geotextil No tejido	59	8.47
Geomalla	80	11.49
Geogrilla	75	10.77

*Fuente: Elaboración propia*

Cálculo del precio unitario de la conformación de la capa subrasante y de la capa subrasante con la aplicación de los geosintéticos:

*Cuadro N°4.4. Funciones del geosintético cuando se aplica en la mitad*

Item	Precio Bs.	Precio \$
Conformación Subrasante	36.75	5.28
Conformación Subrasante + Geotextil tejido	118.39	17.01
Conformación Subrasante + Geotextil No tejido	110.87	15.93
Conformación Subrasante + Geomalla	137.32	19.73
Conformación Subrasante + Geogrilla	130.99	18.82

*Fuente: Elaboración propia*

Los precios de la conformación de la subrasante con los geosintéticos son muy superiores al precio normal de conformación de subrasante normal.

Se deben considerar varios aspectos aunque el costo es mayor, debemos pensar en los beneficios de usar este material como mejoramiento de la subrasante.

Si usamos otro medio de mejoramiento de la subrasante como remover y cambiar el suelo por otro de mejores condiciones, la maquinaria y la mano de obra será un costo bastante alto, además del tiempo que llevara remover y trasladar todo este material.

Si mejoramos la subrasante con una estabilización química el equipo y la mano de obra aumentarán los costos, además el tiempo para la estabilización hará que se pierda tiempo. El uso de geosintéticos genera un costo adicional pero el concepto de ahorro de tiempo por la fácil colocación, hará que se compense el presupuesto adicional generado por el geosintético.

## 4.9. Tratamiento estadístico

### 4.9.1. Confiabilidad

Determinación del Coeficiente alfa Cron Bach.

$$\alpha = \left( \frac{k}{k-1} \right) \left( 1 - \frac{\sum S_I^2}{S_{prom}^2} \right)$$

$\alpha$  = Valor del coeficiente Cron bach    K = Número de ítem    S = Varianza

A continuación se presentan las tablas con los valores de la varianza y del coeficiente:

#### a. Subrasante procedente de “Los Chapacos”

Tabla 4.25. Valores de Coeficiente de Con Bach aplicación de Geo en la Superficie

N°	Geosintético en la Superficie			
	GT	GNT	GMB	GG
Ensayo 1	11.49	9.73	11.36	11.80
Ensayo 2	11.34	9.84	11.40	11.84
Ensayo 3	11.33	9.82	11.46	11.95
Promedio	11.38	9.80	11.43	11.86
Desviación	0.0726	0.0494	0.0403	0.0642
Varianza	0.0053	0.0024	0.0016	0.0041
Coeficiente	1.01			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.26. Valores de Coeficiente de Con Bach aplicación de Geo en la mitad

N°	Geosintético en la Mitad			
	GT	GNT	GMB	GG
Ensayo 1	7.04	6.52	7.35	7.67
Ensayo 2	7.10	6.43	7.18	7.56
Ensayo 3	6.94	6.61	7.24	7.65
Promedio	7.04	6.52	7.25	7.63
Desviación	0.0640	0.0729	0.0704	0.0465
Varianza	0.0041	0.0053	0.0050	0.0022
Coeficiente	0.97			

Fuente: Elaboración propia

**b. Subrasante procedente de “Av. Panamericana”**

*Tabla 4.27. Valores de Coeficiente de Con Bach aplicación de Geosintético en la Superficie*

N°	Geosintético en la Superficie			
	GT	GNT	GMB	GG
Ensayo 1	12.18	10.88	12.96	14.54
Ensayo 2	12.11	11.07	13.19	14.47
Ensayo 3	12.19	10.90	13.13	14.36
Promedio	12.19	10.93	13.77	14.43
Desviación	0.0354	0.0866	0.0969	0.0721
Varianza	0.0013	0.0075	0.0094	0.0052
Coeficiente	0.92			

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 4.28. Valores de Coeficiente de Con Bach aplicación de Geosintético en la mitad*

N°	Geosintético en la Mitad			
	GT	GNT	GMB	GG
Ensayo 1	7.16	5.96	8.43	10.36
Ensayo 2	7.55	6.15	8.38	10.34
Ensayo 3	7.26	6.12	8.04	10.22
Promedio	7.39	6.09	8.29	10.29
Desviación	0.1657	0.0820	0.1721	0.0622
Varianza	0.0274	0.0067	0.0296	0.0039
Coeficiente	0.88			

*Fuente: Elaboración propia*

La teoría de este método de confiabilidad afirma que los coeficientes con valores entre los rangos de 0.9 -1 se consideran de confiabilidad alta y valores de entre 0.5 – 0.75 de mediana confiabilidad.

Según los valores presentados en las tablas todos los datos tienen esta denominación de mediana y alta confiabilidad.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

Se realizó el estudio con dos alternativas de suelo subrasante aplicando cuatro tipos de geosintéticos, el geotextil tejido y no tejido, así como la geomalla biaxial y geogrillas con las cuales se comprobaron que aumentan la resistencia a la deformación de la subrasante aplicando una carga externa.

Según los resultados expresados los geosintéticos que tienen mayor incidencia sobre la capacidad portante de la subrasante de mayor a menor es la Geogrilla, Geomalla Biaxial, Geotextil tejido y Geotextil no tejido; el %CBR del suelo procedente de “Los Chapacos” en su estado natural 1.51 % con la aplicación de los geosintéticos se logró aumentar el %CBR, con el Geotextil Tejido 11.38%, Geotextil no Tejido 9.80%, Geomalla Biaxial 11.43% y Geogrilla 11.86% y el %CBR del suelo procedente de “Av. Panamericana” en su estado natural 1.81 % con la aplicación de los geosintéticos se logró aumentar el %CBR, con el Geotextil Tejido 12.19%, Geotextil no Tejido 10.93%, Geomalla Biaxial 13.77% y Geogrilla 13.08%.

De acuerdo a la compresión simple se evidenció que con la aplicación del geosintético aumenta el valor del último esfuerzo, antes de que se produzca la rotura, la Geogrilla es el geosintético mejor resultado dio, luego la Geomalla Biaxial, Geotextil tejido y Geotextil no tejido; la última carga de esfuerzo del suelo de “Los Chapacos” en su estado natural es 0.222 Kg/cm<sup>2</sup> con la aplicación de los geosintéticos se logró aumentar el valor del esfuerzo último, con el Geotextil Tejido 0.286 Kg/cm<sup>2</sup>, Geotextil no Tejido 0.279 Kg/cm<sup>2</sup>, Geomalla Biaxial 0.294 Kg/cm<sup>2</sup> y Geogrilla 0.302 Kg/cm<sup>2</sup> y el valor del esfuerzo del suelo “Av. Panamericana” en su estado natural 0.243 Kg/cm<sup>2</sup> con la aplicación de los geosintéticos se logró aumentar

el valor, con el Geotextil Tejido  $0.286 \text{ Kg/cm}^2$ , Geotextil no Tejido  $0.285 \text{ Kg/cm}^2$ , Geomalla Biaxial  $0.305 \text{ Kg/cm}^2$  y Geogrilla  $0.309 \text{ Kg/cm}^2$ .

Se logró una reducción del % de expansión de la subrasante esto a largo plazo dentro de una carretera es beneficioso, la aplicación con el geosintético que dio mejor resultado de mayor a menor es la Geogrilla, Geomalla Biaxial, Geotextil tejido y Geotextil no tejido.

Se realizó la aplicación de los geosintéticos a dos alturas dentro del espécimen de estudio, el primer estudio se realizó en la superficie y el segundo a la mitad; los mejores resultados se dan al aplicar la geogrilla y colocado en la superficie, los valores de %CBR incrementan un 10.35% y 12.62% en el suelo de “Los Chapacos” y “Av. Panamericana” respectivamente; el último esfuerzo de carga es de  $0.302 \text{ Kg/cm}^2$  y  $0.309 \text{ Kg/cm}^2$  y el % de expansión disminuye a 1.755% y 1.697%.

Se pudo evidenciar que la distribución de esfuerzos generados por el sistema subrasante + geosintético en la superficie no reflejan la realidad de un pavimento, por lo tanto aunque los valores sean mayores en este estudio, se deben considerar como resultados más cercanos a la realidad los obtenidos por la aplicación del geosintético en la mitad.

Aunque en este estudio se enfocó principalmente en la función de los geosintéticos como refuerzo no se debe olvidar que la colocación de un material geosintético también da un valor agrado que es la función de separación, ya que asegura que la conformación inicial de las capas, espesor y granulometría, se mantenga a lo largo de toda la vida útil de la estructura del pavimento, evitando la contaminación de la capa de subbase con material de subrasante, la contaminación de la capa de base con material de subbase o evitar el bombeo de finos colocando el geosintético entre la

subbase y las losas de un pavimento rígido, fenómenos que conllevarían a un deterioro prematuro de la vía e incrementaría los costos de mantenimiento rutinario. Por lo que la colocación del geotextil brindaría una eficiencia funcional y económica.

En el proyecto se pudo identificar de acuerdo a la teoría que cuando colocamos, los geosintéticos en la superficie cumplen funciones de refuerzo, pero también funciones secundarias, en el caso del geotextil tejido y el geotextil no tejido actúan como capa de separación y filtración; mientras que la geomalla y la geogrilla solo como capa de separación.

Los ensayos de laboratorio que se realizan a los geosintéticos no son efectuados en el país, por lo que el certificado de calidad del fabricante es la única herramienta con la que cuenta el diseñador y/o supervisor para aceptar o rechazar el uso de un producto en particular.

### **Recomendaciones**

Se recomienda tomar cuidado en la elección del geosintético ya que el éxito o fracaso en la utilización de un geosintético como refuerzo de subrasantes dependerá principalmente de la buena elección del geosintético a utilizar considerando sus propiedades, características y ensayos normalizados previos.

Siguiendo el criterio de menor tiempo, menor costo, mayor rendimiento, la colocación del geosintético que se recomienda es en la superficie de la subrasante ya que no interfiera con la compactación de ninguna de las capas del paquete estructural, si se aplicara el geosintético a la mitad de la capa subrasante se tendría que realizar la compactación de la capa en dos momentos, lo cual genera pérdida de tiempo y por lo tanto pérdida económica.

El proceso de instalación de los geosintéticos en las obras es relativamente simple, por lo que el control de calidad debe ser estricto con el fin de evitar que se cometan errores durante la colocación, tales como inadecuadas longitudes en los traslapes, costuras, falta de preparación del sitio de colocación, flujo de equipo pesado sobre el geosintético colocado, exposición del geosintético a la intemperie, etc. Defectos que fácilmente pueden ser pasados por alto y ocasionar que el geosintético presente un bajo desempeño en su funcionalidad durante la vida útil del proyecto.

Los geosintéticos como alternativa de solución a problemas de construcción, pueden ser utilizados en muchas aplicaciones en obras civiles, por ejemplo cimentaciones de edificios, estabilidad de taludes, rellenos sanitarios, control de erosión, protección de obras costeras, etc. Por lo que el estudio de alguna de estas aplicaciones podría ser muy importante y realizarse en un futuro trabajo de graduación.

El refuerzo de pavimentos flexibles con el uso de geosintéticos registra detalladamente la cuantificación del desempeño de estos. Sin embargo, estas están sujetas a condicionantes y variables como el tipo de geosintético, tipo de estructura de pavimento, espesores de sus capas, características de material asfáltico, material de agregado, tipo de suelo de la subbase, nivel freático y condicionantes ambientales, aunque en este trabajo no se consideraron todas estas variables, la que se convirtió en estudio si cumplió con las expectativas requeridas.

Se recomienda la utilización de geosintéticos e impulsar el uso de nuevas tecnologías de construcción, las cuales podrían llevar a cabo el proyecto con un costo mucho menor que los métodos tradicionales.