

CAPITULO I

DISEÑO DE REFUERZOS CON GEOSINTÉTICOS APLICANDO EL SOFTWARE GEOSOFT 3.0

1.1.- INTRODUCCIÓN.-

Los pavimentos durante su vida útil tienen un deterioro en función de los esfuerzos a los que está sometido por las cargas del tráfico, cuando se evidencia la insuficiencia estructural del pavimento, es necesario buscar soluciones entre las cuales están el refuerzo y la rehabilitación. Cuando las condiciones técnicas lo permiten, es conveniente optar por una alternativa de refuerzo, es ahí donde debe considerarse varias posibilidades entre las cuales está el uso de geosintéticos, que dada su aceptación a nivel mundial ha ido mejorando sus productos, tanto en su calidad como variedad y paralelamente ha desarrollado su tecnología informática donde sobresale el programa GEOSOFT 3.0.

En el campo de los pavimentos en muchas ocasiones es usual encontrar suelos poco competentes para soportar cargas debido al tráfico, la utilización de geosintéticos se ha incrementado considerablemente en los últimos años, especialmente por la aparición de nuevos productos, que han extendido el ámbito de aplicación y la respuesta de los mismos al ser incorporados en los pavimentos.

La incorporación de programas informáticos en todas las áreas de la ciencia ha sido un común denominador en los últimos 15 años, la ingeniería de pavimentos no ha quedado exenta de esta situación por lo cual se han desarrollado varios programas relacionados a esta temática entre los que sobresale el programa GEOSOTF 2.0 como una alternativa para el análisis de refuerzos con geosintéticos.

El refuerzo con geosintéticos permite mejorar el desempeño de un pavimento disminuyendo los esfuerzos aplicados sobre la subrasante. Como resultado, se tiene

una sección reforzada que permite una mayor aplicación de cargas y menores deformaciones que una sección sin refuerzo.

El uso de diversos materiales para reforzar suelos es muy antiguo, primitivamente se empleaban troncos, pieles, tejidos orgánicos y otros materiales que cumplían funciones específicas pero de corta vida debido a sus características bioreductibles.

Los avances tecnológicos han permitido, en las últimas décadas, desarrollar una amplia gama de productos de alta resistencia mecánica y ante otros agentes de deterioro (como humedad, hongos, corrosión, etc.) que ofrecen un importante apoyo en obras de ingeniería.

1.2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.-

1.2.1.- Revisión Bibliográfica Relacionada:

Las metodologías de diseño de pavimentos se han desarrollado con las tecnologías de construcción de vías y con la aparición de nuevos productos en la aplicación de esas tecnologías. Cada día más, los diseñadores se han visto en la obligación de contemplar la utilización de los métodos racionales para el diseño de estructuras de pavimento, en los que se aplican las teorías de distribución de esfuerzos y deformaciones en un sistema que conforma la estructura del pavimento.

El diseño de una estructura de pavimento depende de varios factores que afectarán la vía durante su vida útil, como son, entre otros, el tránsito, las condiciones ambientales, las características del suelo de subrasante y de los materiales que conforman la estructura de pavimento.

Las diferentes alternativas en el diseño de pavimentos normalmente resultan al evaluar varias posibilidades con los siguientes parámetros:

- Espesores de las capas granulares.
- Propiedades mecánicas de los materiales granulares.

- Capacidad portante de la subrasante.

En el diseño, el tránsito es un parámetro fijo y las características de los materiales como el concreto asfáltico o el concreto rígido se modifican como una última alternativa, tratando siempre de encontrar una solución definitiva al cambiar las características de los suelos y los materiales que conforman las capas de subrasante y granulares respectivamente.

Los materiales que conforman la capa estructural de los pavimentos flexibles y la capa de apoyo de los pavimentos rígidos deben cumplir unas especificaciones establecidas para soportar las capas superiores y los esfuerzos a los que es sometido el sistema en todo momento. Sin embargo, son muchos los casos en donde el material no tiene las resistencias apropiadas y debe mejorarse o reemplazarse por otro que se encuentra a mayor distancia y con mayor dificultad.

Otro caso que se presenta con frecuencia es la baja capacidad portante de los suelos de subrasante y sus deficientes propiedades mecánicas, que influye en la degradación de las capas granulares y en el comportamiento de la estructura de pavimento, lo que conlleva a una disminución de la vida útil que inicialmente se determinó en el diseño.

Los geosintéticos son elaborados a partir de diferentes tipos de polímeros, que pueden ser combinados con fibras sintéticas o naturales, utilizados en contacto con el suelo, roca o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia.

En obras viales los geosintéticos cumplen las funciones de: refuerzo, separación, filtración y drenaje, pudiendo cumplir una o varias funciones a la vez, lo que los convierte en una alternativa de solución a problemas que comúnmente se presentan en la construcción de estas obras, como suelos de baja capacidad de soporte, niveles freáticos elevados, restricciones del tamaño de la obra, elevados costo de los materiales, etc. Los geosintéticos presentan además ventajas sobre los métodos tradicionales de construcción por su facilidad de colocación, durabilidad, rentabilidad a largo plazo.

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 el peso propio del suelo, como en el caso de taludes o terraplenes sobre suelos de fundación muy blandos, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la construcción de taludes o terraplenes con mayor inclinación. 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.

* **Concentración de tensiones sobre la subrasante:** las discontinuidades que crean las fisuras aumentan las deformaciones y provocan concentración de tensiones sobre la subrasante.

* **Aumento de las tensiones y deformaciones en el pavimento:** el aumento de las deformaciones que provocan las fisuras, a su vez provocan tensiones sobre las capas que reducirán la durabilidad de la subrasante.

* **Degradación de la capa de rodamiento en la vecindad de las fisuras:** debido al movimiento provocado por el tráfico vehicular se generan tensiones de fricción que provocan la erosión de los bordes de la capa de revestimiento, muchas veces arrancando agregados o pequeños bloques.

Por lo general, la técnica convencional para la recuperación de pavimentos fisurados consiste en la ejecución de una nueva capa de repavimentación, de concreto asfáltico bituminoso, por encima de la superficie dañada. Sin embargo, en esta nueva capa igual puede aparecer lo que se conoce como fisuras de reflexión, que es la propagación de las fisuras inferiores a la nueva superficie. Esto se produce como consecuencia de las

solicitaciones diversas que deberá soportar el pavimento (tránsito vehicular, variación de temperatura y variaciones hidráulicas del suelo) y lo que ocurre es que los bordes de las fisuras existentes se movilizan y transfieren este movimiento, o crean concentraciones de tensiones, en la camada inmediatamente superior, donde, por proceso de fatiga, se inicia una fisura que crece rápidamente en dirección a la superficie. Para prevenir este problema se puede aumentar el espesor de la nueva capa. Pero, en general, esta solución resulta antieconómica, sobre todo cuando la reflexión potencial de fisuras es elevada.

Dentro de la gran cantidad de aplicaciones en las que intervienen los materiales geosintéticos, el control de reflexión de fisuras en obras de repavimentación mediante la colocación de geosintéticos constituye una alternativa muy atractiva, ya sea desde el punto de vista técnico como económico. Esta solución garantiza la vida útil de la obra y resulta más sencilla de realizar y más económica que las técnicas tradicionales.

1.2.2. Presentación del Conocimiento Científico del Software Geosoft 3.0.-

A filosofía de Geosistemas PAVCO es trabajar bajo un esquema de venta consultiva ofreciendo soluciones innovadoras para los diferentes campos de la ingeniería utilizando la tecnología de los Geosintéticos, generándoles a sus clientes la mejor relación beneficio-costos. Bajo esta filosofía, y como líder en la tecnología de los Geosintéticos, el Departamento de Ingeniería de Geosistemas PAVCO presenta a la Ingeniería la tercera versión del Software de Diseño Geosoft v3.0, primer software desarrollado en Latinoamérica para aplicaciones con Geosintéticos dirigido a promover el aprendizaje y establecer los requerimientos técnicos necesarios de los Geosintéticos para ser empleados en los diferentes tipos de obra en nuestros países, con calidad técnica, equilibrio económico y disminuyendo el impacto ambiental. GEOSOFT PAVCO opera bajo un entorno amigable, de fácil manejo para cualquier ingeniero, que le ayudará a realizar propuestas con mayor rapidez y precisión, empleando Geosintéticos, con cálculos totalmente ajustados a metodologías ampliamente

aceptadas internacionalmente, existentes en el Manual de Diseño Geosintéticos PAVCO.

El Departamento de Ingeniería de Geosistemas Pavco, desde hace más de veinte años, ha estudiado y analizado el comportamiento de los geosintéticos en las diferentes aplicaciones, haciendo inversiones tecnológicas y liderando trabajos de investigación que amplíen el conocimiento en el campo de los geosintéticos para ofrecer cada día productos y pre diseños que cumplan los más elevados estándares de calidad a escala mundial.

Como complemento a este manual de diseño, se desarrolló el Software para diseñar con Geosintéticos Geosoft PAVCO v3.0, un software inspirado en la ingeniería civil latinoamericana (al ser el único en español), ideal para aplicar Geosintéticos a los diseños de obras civiles. Ahora, la versión 3.0 incluye nuevos módulos de diseño, reportes más efectivos y nuevas opciones para obtener más velocidad, productividad y diseños con Geosintéticos más reales.

El uso de los Geosintéticos en América Latina ha tenido en los últimos años, un gran incremento, respondiendo a una necesidad que cada vez se hace más crítica en los proyectos de ingeniería; consiste en la ejecución de obras civiles con una alta calidad técnica, buscando un equilibrio económico y disminuyendo el impacto ambiental con productos o sistemas que promuevan la protección del medio ambiente.

Con base en el desarrollo tan importante que han tenido los Geosintéticos, el Departamento de Ingeniería desarrolló el software de diseño Geosoft®, con el cual se pueden realizar las modelaciones de las siguientes aplicaciones:

- Sistemas en suelo mecánicamente estabilizado.
- Sistemas de subdrenaje en vías, convencional y con Geosintético.
- Sistema de subdrenaje en edificaciones.
- Sistema de refuerzo de cimentaciones corridas con Geosintéticos.
- Sistemas de estabilización de subrasante con geosintéticos.

- Sistema de separación de capas granulares y subrasante.
- Sistema de refuerzo en vías empleando geomallas biaxial coextruída.
- Diseño con Geomembranas.
- Sistema de muros en suelo mecánicamente estabilizado.

1.2.3 Análisis de Investigaciones Anteriores:

Con frecuencia encontramos suelos poco competentes para soportar cargas debido al tráfico, por lo cual el refuerzo con Geosintéticos permite mejorar el desempeño de un pavimento, disminuyendo los esfuerzos aplicados sobre la subrasante. Como resultado, se tiene una sección reforzada que permite una mayor aplicación de cargas y menores deformaciones que una sección sin refuerzo. En el diseño el software permite escoger el tipo de Geosintético adecuado para ser instalado en conjunto con un espesor de material granular, de manera tal que se logre estabilizar la subrasante, logrando una plataforma de trabajo que permita el inicio de las actividades propias de la construcción de una vía.

El método con el que trabaja el Geosoft es el desarrollado por los profesores J. P. Giroud y Jie Han, publicado en la edición de agosto de 2004 de la Sociedad de Ingenieros Civiles de los Estados Unidos (ASCE, por sus siglas en inglés). Dicho método se basa en la teoría de capacidad portante a través de verificaciones en campo y pruebas de laboratorio, permitiendo predecir con mayor precisión el desempeño de la vía. Este método puede ser usado para dimensionar vías no pavimentadas y estabilización de subrasantes con y sin Geosintéticos.

1.2.4. Posición que Asume ante el Tema:

En los últimos años en nuestro país existe un incremento sustancial en la construcción de infraestructura vial, ante ese escenario la exigencia de materiales en cada proyecto se ha convertido en una problemática que en muchos casos no es fácil resolverla por la inexistencia en la zona de los proyectos de materiales adecuados o por la distancia de acarreo de materiales a las zonas de proyecto. Ante esta perspectiva al igual que en

otros países el nuestro debe buscar soluciones y una de las alternativas que ya han sido probadas en otros países e introducidas en nuestro país en zonas donde se carece de buenos materiales es la utilización de geosintéticos de distintas formas, composición y calidad para el refuerzo de capas de materiales ya sean estos en nivel de subrasante o como parte de la estructura del pavimentos.

En esa temática una de las pioneras en la industria de geosintéticos en Latinoamérica es PAVCO que en los últimos años ha puesto en el mercado una serie de materiales geosintéticos, entre ellos los que recomiendan para el uso en refuerzo de materiales.

Para un buen uso de los materiales geosintéticos que se disponen en el mercado dependiendo del proyecto específico en el cual se va a usar, el dimensionamiento de las capas reforzadas es una tarea indispensable que nos debe garantizar la correcta aplicación de una alternativa de producto como son los geosintéticos, por ello el analizar el proceso metodológico desde el ingreso de parámetros, procesamiento, resultados y aplicabilidad son parte del dimensionamiento que el programa informático GEOSOFT 3.0 ha tomado en cuenta y nos permite el dimensionamiento de varios casos tanto para subrasantes como para capas de pavimento que van a ser reforzadas con geosintéticos.

Lo importante demostrar es que esta metodología planteada por GEOSOFT 3.0 para el refuerzo con materiales geosintéticos pueda ser aplicable en nuestro medio y ver si no se tienen limitaciones para su uso.

1.3. DISEÑO TEÓRICO.-

1.3.1. Situación Problémica.-

Como es sabido, todos los pavimentos se degradan con el tiempo, con la aparición de fisuras. Esta degradación se produce por diferentes motivos (fatiga, retracción del material, movimientos de las capas estructurales, defectos de construcción) y provoca efectos contraproducentes sobre el camino, por lo que su control resulta vital para

asegurar la vida útil deseada. En efecto, la aparición de deterioros en la superficie de los pavimentos no constituye sólo un problema de aspecto visual o estético, sino que constituye uno de los factores más importantes en la performance de la estructura.

Ante esta situación en todos los países incluyendo el nuestro se han buscado soluciones alternativas para el refuerzo de los materiales de subrasante y de la estructura del pavimento, una de ellas es la utilización de geosintéticos que los fabricantes año a año vienen desarrollando con mayores ofertas de acuerdo a las necesidades en diversos tipos de materiales.

Nuestro país no difiere de las necesidades de otros países de buscar alternativas de reforzar los materiales sobre todo en algunas zonas que por sus características propias la presencia de materiales de buena calidad es escaza y más bien predominan los suelos malos con alta plasticidad y baja resistencia al corte.

Por ello, es importante estudiar con mayor profundidad el dimensionamiento de refuerzo de materiales de subrasante y capas de pavimento, para ello disponer de una herramienta como lo es GEOSOFT 3.0 cuya aplicación principal es el dimensionamiento de refuerzos con materiales geosintéticos es altamente beneficioso si es que se apropia a las condiciones locales de nuestro medio.

1.3.2. Planteamiento del Problema.-

La variabilidad de las características de los materiales de subrasante y capas de pavimento cuando éstos son de baja calidad exigen una acción para reforzarse siendo una posible alternativa el uso de geosintéticos, cuyo dimensionamiento de capas reforzadas tiene una mayor optimización con la utilización del programa informático GEOSOFT 3.0 que puedan aplicarse en proyectos viales de nuestro medio.

1.4. OBJETIVOS DEL TRABAJO.-

1.4.1. Objetivo General:

Realizar la aplicación de Software GEOSOFT 3.0 de dimensionamiento de refuerzo de pavimentos con geosintéticos, a objeto de optimizar su diseño cuando los materiales son de baja calidad de valor portante aplicando esta metodología a cinco tramos de la red departamental de carreteras de Tarija que están a nivel de ejecución cuyas características de los materiales presentan problemas insuficiencia de resistencia.

1.4.2. Objetivos Específicos:

Los objetivos específicos que tenemos son los siguientes:

- ✓ Analizar los aspectos generales del refuerzo en materiales de pavimentos con geosintéticos en general.
- ✓ Analizar los principios básicos sobre el refuerzo de pavimentos
- ✓ Describir en detalle la metodología de utilización del software Geosoft versión 3.0 en la aplicación de refuerzos en capas de pavimentos.
- ✓ Dimensionamiento de refuerzo de pavimentos en los tramos elegidos con la aplicación del software Geosoft 3.0.
- ✓ Realizar un análisis de resultados y procedimiento del Geosoft 3.0 en los tramos de estudio.
- ✓ Establecer conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos en los tramos de estudio.

1.5. HIPÓTESIS.-

Si queremos dimensionar el refuerzo en los pavimentos utilizando como alternativa los geosintéticos entonces el Software Geosoft 3.0 resultará el más apropiado para optimizar el diseño en las condiciones que presentan los materiales en algunas de las carreteras de nuestro medio.

1.5.1. Definición de Variables Conceptuales y Operacionales.-

- **Variable Dependiente:**

Como variable dependiente del trabajo propuesto está el dimensionamiento de refuerzo de pavimento con materiales geosintéticos.

- **Variable Independiente:**

Como variable independiente la utilización del software Geosoft versión 3.0. En el refuerzo de pavimentos.

1.6. DISEÑO METODOLÓGICO.-

1.6.1. Unidad de Estudio y Decisión Muestral:

a) Unidad de Estudio.-

La unidad de estudio que se entiende como cada uno de los elementos constituyentes de la población estudiada, en el caso particular del presente trabajo tenemos como unidad de estudio a todos los materiales de pavimentos que por su calidad requieren de un refuerzo.

b) Población.-

Siendo la población un conjunto de objetos que poseen una o varias características comunes a ser evaluados, en el presente estudio nuestra población está constituida por

los materiales de sub rasantes y capas de pavimento que por su baja calidad requieren de refuerzos cuya alternativa será el uso de geosintéticos.

c) Muestra.-

La muestra estará constituida por materiales de 5 tramos de la red departamental que requieran refuerzo 3 de material de subrasante (Carlaso Piedra larga, Copacabana Yunchara y Quebrada las Vacas Salinas), 1 de material de subbase (Charaja) y 1 de material de base (Charaja), cuyos materiales serán reforzados con geosintéticos de dos tipos geomalla y geotextil cuyos refuerzos se dimensionarán utilizando el programa GEOSOFT 3.0.

d) Muestreo.-

Una etapa importante es tomar el muestreo de materiales para ello se siguen procedimientos ya establecidos tanto en material de subrasante como materiales naturales para subbase y base. El muestreo será aleatorio tomando 3 muestras de cada tipo de material de manera que en laboratorio se compruebe la homogeneidad de la muestra.

e) Métodos, técnicas y procedimientos:

El método que utilizaremos para este trabajo es un método científico, ya que para el mismo usamos un programa informático que es el software Geosoft versión 3.0.

El procedimiento a usar será:

- Ubicación del área de estudio.
- Recopilación de datos de los materiales
- Definición de las características de los materiales
- Definición de las características del geosintético para el refuerzo
- Introducción de datos de entrada en el programa
- Procesamiento del dimensionamiento a través de GEOSOFT 3.0
- Obtención de resultados de los diferentes casos

- Análisis de los resultados
- Conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo realizado.

f) **Tratamiento estadístico.-**

El tratamiento estadístico se realizará con los resultados que nos proporcione el programa GEOSOFT 3.0 sobre el dimensionamiento del refuerzo sobre el total de la muestra de manera que se visualice las diferencias de espesores en base a la condición del material y el tipo de geosintético.

1.7. ALCANCE.-

El presente trabajo para su realización tiene el siguiente alcance:

En primera instancia se desarrollará la parte introductiva que contempla el planteamiento del problema, objetivos tanto general como específicos, hipótesis de la investigación, desarrollo metodológico con las unidades de estudio, población, muestra y el procedimiento metodológico que contemple los métodos y técnicas a utilizar.

Posteriormente se desarrolla el marco teórico que enmarque el estado de conocimiento del tema, incorporando los tópicos de materiales de subrasante, materiales en capas de pavimento, todo lo referente a geosintéticos y su utilización en refuerzos.

Como parte del marco teórico y como principal enfoque del tema se desarrollara la temática del programa GEOSOFT 3.0 desde los principios del programa, sus componentes, el procedimiento metodológico para su manejo, la apropiación de los datos de entrada, el procesamiento en el dimensionamiento de refuerzos del programa, sus resultados y el manejo de estos para los reportes a imprimir.

A continuación se desarrolla la parte práctica del trabajo de manera que se aplique los elementos del marco teórico sobre todo en lo que se refiere al dimensionamiento de refuerzos a través del programa GEOSOFT 3.0 para diferentes condiciones de materiales, para ello establecemos los siguientes puntos importantes:

- a) Ubicar los tramos de estudio que ya han sido elegidos como potenciales materiales para investigar procedentes de carreteras en ejecución como son: Yunchará - Cobacabana, Carlaso - Piedra Larga y Quebrada - las Vacas Salinas en subrasantes y Charaja como productor de materiales de subbase y base natural.
- b) A partir de la información obtenida organizar la caracterización de los materiales de los tramos en estudio de manera que se tenga la suficiente información para introducir al programa GEOSOFT 3.0
- c) Tener caracterizado a los dos tipos de Geosintéticos uno de condición de geomalla y una segunda de geotextil.
- d) Luego aplicando el programa GEOSOFT 3.0 se dimensionarán varios tipos de refuerzos para las diferentes combinaciones de materiales y geosintéticos de manera que se pueda visualizar en los resultados del programa las diferentes variaciones para los distintos materiales con cada uno de los geosintéticos, lo que permitirá realizar un análisis de los resultados. El programa GEOSOFT 3.0 es un programa especialmente diseñado para trabajar diferentes aplicaciones de los geosintéticos, uno de ellos es la de refuerzos la que aprovecharemos para este trabajo, el programa en si sigue una secuencia lógica que es introducir datos de entrada, hacer correr el programa y obtener resultados que consistirán en aplicar diferentes espesores de capas subrasante y pavimento con incorporación de geosintéticos cuyo conjunto tendrá una resistencia al corte esperada mayor establecida por el programa como admisible.
- e) Como el programa no ejecuta ningún análisis, sino simplemente procesa y establece resultados numéricos, como parte del trabajo se desarrolla un análisis que apoyado en indicadores estadísticos de tendencia central nos permite obtener un análisis más científico sobre la conveniencia de la utilización de geosintéticos en el refuerzo de capas de material de subrasante o materiales de pavimento, este análisis con el objetivo de probar la conveniencia de la utilización de geosintéticos en refuerzos y la magnitud de las mejoras de sus condiciones iniciales.

- f) El trabajo se concluye con el desarrollo de conclusiones y recomendaciones que se puedan identificar de todo el proceso de ejecución del trabajo en todos los ámbitos de lo desarrollado en la aplicación práctica.

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE MATERIALES PARA PAVIMENTOS Y GEOSINTÉTICOS

2.1.MATERIALES EN CAPA DE SUBRASANTE.-

Desde un punto de vista general, en la ingeniería civil se denominan "estructuras de tierra" a los rellenos realizados con materiales pétreos naturales o artificiales, compactados y controlados, con un objetivo generalmente de soporte de un firme viario.

En el contexto general de estas denominadas estructuras de tierra, aunque gran parte de su filosofía sea la misma, es esencial distinguir dos tipos distintos fundamentales, que hacen referencia sobre todo al tamaño y granulometría de sus constituyentes.

Se denominan "subrasantes" a aquellos rellenos constituidos de modo que los contactos intergranulares son microscópicos, y muy numerosos; dando lugar a una estructura poco porosa e impermeable.

Antes de entrar en otros detalles, conviene dejar claro que las estructuras de tierra, como cualquier otra parte de las obras civiles en general, o viales en particular, se construyen con el objetivo, en este caso, de crear una plataforma que soporte al pavimento.

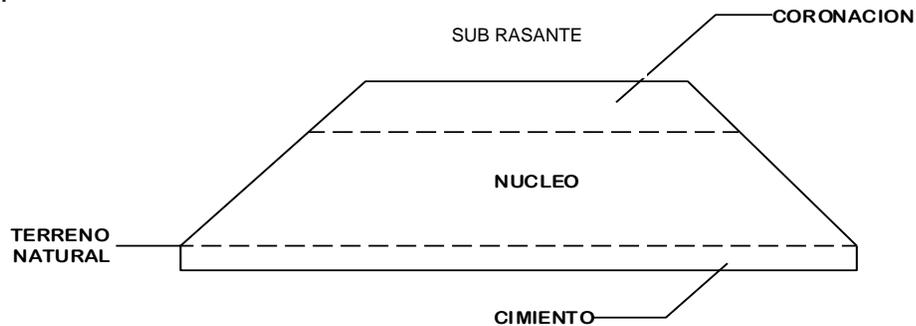
Como una definición de terraplén puede decirse que tiene un origen funcional relacionado con la diferencia de cotas entre la rasante de la carretera y la del terreno natural.

2.1.1. Zonas de Subrasante.-

Las zonas de un terraplén se representan en la siguiente figura:

Figura 2-1

ZONAS DE SUBRASANTE



Fuente: Explanaciones y drenaje (Simposio Sobre Geosintético, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 2003)

El **cimiento**, está situado por debajo de la superficie original del terreno. Se trata de una zona vaciada durante el desbroce, es decir, durante la remoción y retirada de árboles, plantas, tierra vegetal, escombros, basura y otros materiales indeseables que podrían ser causa de asientos diferenciales. La caja así formada se rellena con suelos de aportación para formar un cimiento uniforme del terraplén. En este sentido, cuando no sea necesario un desbroce previo, será incluso conveniente proceder, al menos, a un escarificado y compactación homogénea de la superficie del terreno.

El **núcleo**, constituye el cuerpo del terraplén propiamente dicho y está comprendido entre el cimiento y la coronación.

La **coronación**, está formada por la parte superior del terraplén y su superficie constituye la rasante sobre la que se asienta el firme de la calzada y de las bermas. Por ser la zona más próxima a las cargas de tráfico, las exigencias impuestas a la calidad de los suelos utilizados en su formación y al grado de compactación de los mismos suelen ser más severas que en el resto del terraplén.

2.1.2. Condiciones para la Formación de Subrasantes.-

Los terraplenes deben cumplir las siguientes condiciones básicas:

- **Ejecutabilidad:** significa que sea posible su puesta en obra en debidas condiciones, y de forma tecnológica (es decir, con medios mecánicos de alto rendimiento, dada la era de desarrollo en la que nos encontramos). En especial, este aspecto hace referencia a los suelos excesivamente húmedos o secos, que son los que plantean problemas a ese respecto.
- **Estabilidad:** se refiere a que la propia estructura de tierra sea estable frente al deslizamiento, tanto desde el punto de vista interno (la propia sección del terraplén, con superficies de deslizamiento que se inscriban fundamentalmente en su seno) como externo, en el sentido que exista suficiente estabilidad sobre el terreno en el que se asientan. Esta estabilidad externa suele ser mucho más importante que la del propio relleno.
- **Deformabilidad:** hace referencia a que las deformaciones (verticales-asientos, u horizontales-desplazamientos) que se produzcan, una vez que se construya el firme a soportar, deben ser admisibles y compatibles con la funcionalidad y servicio del mismo, incluyendo la regularidad superficial de la capa de rodadura.

En este sentido, han de tenerse en cuenta los asientos, o movimientos totales y sobre todo los diferenciales, que pueden dar lugar a agrietamientos longitudinales o transversales del firme, además de descalces de estribos, disfunciones del servicio del firme, etc.

Dentro de este contexto, se deben tener en cuenta todo tipo de fenómenos que pueden originar movimientos; y por tanto, además de las deformaciones propias del relleno, hay que considerar los posibles fenómenos de hinchamiento-retracción debido a cambios de humedad-temperatura, los asientos del cimiento (apoyo sobre suelos blandos), etc.

- **Durabilidad:** que hace referencia, por último, a que la obra ha de ser duradera (vida de servicio útil) y también garantizar la permanencia de las condiciones de servicio durante ese periodo de diseño (amortización de la inversión).

En ese sentido, son básicos los procesos de alteración y sus factores más influyentes, como el agua, la temperatura, y los agentes biológicos o químicos. Y por supuesto, el tipo de material utilizado en el propio relleno.

Los principios básicos que guían el comportamiento de un suelo se basan en la tecnología de su construcción, abarcan una gama muy amplia incluyen la estabilidad de taludes, los materiales expansivos, etc. Pero en aquellas más específicas, cabe centrar la atención en unos cuantos aspectos, como son: materiales, compactación y exigencias sobre el producir obtenido (controles y requisitos que deben cumplir las magnitudes básicas).

De un modo simplificado, en la Tabla 3.1.3 se exponen los aspectos o condiciones más importantes y globales a ser contempladas: las denominadas características intrínsecas del material, el estado de consistencia-humedad, y la tecnología constructiva.

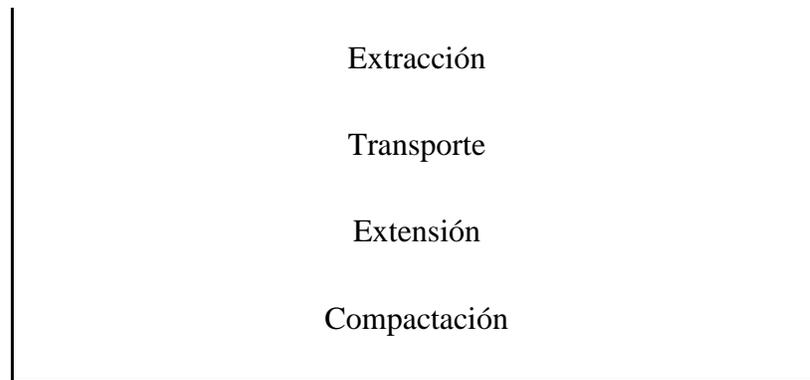
Las características intrínsecas se refieren a las propiedades del material como tal, independientemente de la obra de tierra, y contemplan aspectos tales como: granulometría, plasticidad, expansividad, etc., que en un principio resultaron de extrema importancia, pues su utilización se basaba casi exclusivamente en las clasificaciones deducidas de estas propiedades índices.

El estado de consistencia, o humedad, ha sido tenido siempre en cuenta como esencial, pues está ligado íntima y directamente a la trabajabilidad, y en definitiva a las labores esencialmente constructivas (incluyendo no solo la compactación, sino también el transporte, extendido, etc.). No obstante, ha sido en tiempos más recientes cuando se le ha dado a la humedad una importancia más esencial y científica, por la gran trascendencia que tiene en la estructura de los suelos compactados, y en su comportamiento posterior (sobre todo en suelos de carácter expansivo, colapsable, etc.).

Tabla 2-1

CONDICIONES A CONTEMPLAR EN UNA SUBRASANTE

CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DEL MATERIAL
<p>Granulometría</p> <p>Sales Solubles</p> <p>Plasticidad</p> <p>Materia Orgánica</p> <p>Compactación Proctor</p> <p>Capacidad Portante C.B.R</p> <p>Expansividad</p> <p>Colapsabilidad</p>
ESTADO DE CONSISTENCIA (HUMEDAD)
<p>Humedad de Cantera</p> <p>Climatología</p> <p>Posibilidad de Modificación</p>
TECNOLOGIA CONSTRUCTIVA



Fuente: Explanaciones y Drenaje (Simposio Sobre Geosintético, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 2003)

Además de la humedad en cantera, debe tenerse presente la climatología como un factor extrínseco muy importante, así como las posibilidades de modificación de la misma. Por último la tecnología constructiva debe contemplar no sólo el proceso de la propia compactación, sino también el de extracción, transporte y extendido.

La variación conceptual que se ha venido produciendo en el modo de contemplar este tipo de obra, ha ido restando importancia a la cuestión ligada a las características del propio material, para poner énfasis en el producto final obtenido (que es el bien y objetivo deseable, al margen de con qué y cómo se haya producido).

A su vez, ello ha conllevado a ir variando las exigencias y normativas al respecto, sobre todo en lo que se refiere a su clase, así como los sistemas o métodos de control. Se ha basado, en la línea antes señalada, de centrar la atención sobre las características intrínsecas del material, a poner el énfasis en el producto, y en concreto en su comportamiento geomecánico: resistencia y deformabilidad (teniendo en cuenta la gran influencia de la humedad y su evolución).

En ese sentido, y como factor básico de ese comportamiento, se debe considerar la estructura del material compactado como un elemento básico que determina su comportamiento, y por ello, además de la densidad, que ha sido el aspecto esencial que

se ha venido teniendo en cuenta históricamente, debe ser considerada la humedad como el otro dato básico.

2.1.3. Construcción de las Subrasantes.-

En primer lugar hay que preparar la superficie de asiento del terraplén, procediendo al desbroce, a la excavación y retirada de materiales inadecuados y a la escarificación y compactación del área afectada. Cuando se trata de excavación en roca, las voladuras deberán hacerse de forma que se mantenga una cierta uniformidad geométrica y que se evite el lanzamiento del material fuera del área de excavación. También se procederá a la captación y conducción de aguas superficiales y al drenaje profundo en los puntos necesarios.

Si el terreno natural tiene una gran inclinación (por ejemplo, superior a 30°) conviene escalonar previamente la superficie para evitar el desplazamiento del terraplén.

La construcción del terraplén tiene lugar por tongadas o capas de espesor relativamente uniforme, con una secuencia que se describe a continuación.

a) Excavación, transporte y extensión del suelo

Los suelos proceden de desmontes de la traza o de préstamos próximos al lugar de empleo reuniendo las características requeridas por la obra.

El espesor máximo de las tongadas viene limitado por la maquinaria de compactación que se emplee, el tipo de suelo y el grado mínimo de compactación que se desee alcanzar, variando así en la práctica desde 0,15m hasta 0,60 - 0,80m y aún más con compactadores pesados y suelos granulares fácilmente compactables.

Antes de extender una tongada es necesario comprobar que la subyacente ha sido compactada adecuadamente y que no se encuentra encharcada o saturada de agua. Es frecuente dar una pequeña pendiente transversal para evacuar las aguas de lluvia caídas durante la ejecución. Los trabajos deben interrumpirse con temperaturas ambientes

bajas (inferiores a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$), suelos helados, y cuando se produzca una lluvia de moderada a intensa.

b) Humectación o desecación del suelo

Una vez extendida la tongada se procede, si es necesario, a su humectación con un camión cisterna para que el suelo alcance una humedad próxima a la óptima de compactación, función del suelo y del proceso elegido. Se comprende que con tongadas de gran espesor sea muy difícil conseguir una adecuada distribución del agua y por tanto una homogeneidad aceptable del grado de compactación.

En ocasiones, sin embargo, la humedad natural del suelo es excesiva, lo cual puede constituir un impedimento para alcanzar la densidad prevista por más que se aumente la energía de compactación. Cuando este caso se deba a precipitaciones atmosféricas puede ser suficiente esperar a su desecación natural o acelerada mediante escarificación. Si se trata en cambio de suelos finos limo-arcillosos con humedades próximas al límite plástico no podrá contarse con su desecación por oreo y habrá que prescindir de ellos o proceder a su mezcla con cal, escorias o cenizas volantes.

Con este tratamiento se consigue una modificación granulométrica aparente por formación de grumos y un aumento de la humedad óptima de compactación, que se aproxime a la natural del suelo.

Las estabilizaciones son, sin embargo, tratamientos costosos para ser utilizados en el núcleo de terraplenes, por lo que suelen reservarse para la rasante.

c) Compactación de las tongadas

La compactación del terraplén tiene lugar generalmente en todo su ancho. Las tongadas se compactan mediante varias pasadas de máquinas compactadoras de diferente tipo.

El objeto de la compactación es alcanzar una densidad seca mínima que confiera una cierta estabilidad al suelo, compactado según un proceso económicamente justificado.

Para tener en cuenta la distinta compactabilidad de los suelos suele exigirse una densidad en términos relativos, como ser que en los cimientos y núcleos de los terraplenes se alcance una densidad no inferior al 95 % de la máxima obtenida con el mismo suelo en el ensayo proctor. En la coronación se exige como mínimo un valor del 100 % de la densidad máxima proctor normal.

Estos valores deben considerarse actualmente como mínimos, aunque razonables con suelos de grano fino de difícil compactación. Con suelos granulares pueden prescribirse valores mínimos de 95 a 100 % de la densidad máxima Proctor modificado. Los valores exigidos para la densidad in situ aumentan hacia la coronación del terraplén.

Naturalmente existen diferencias entre la compactación en obra y la compactación obtenida en el laboratorio, por ejemplo, el apisonado Proctor. Para un suelo dado que tenga una cierta humedad, la densidad obtenida dependerá de las características del compactador empleado (principio de compactación, peso, dimensiones, etc.), del espesor de la tongada compactada y del número de pasadas o veces que el compactador pasa por un punto de la superficie de la tongada. También pueden influir otras características propias de los rodillos vibratorios como la frecuencia, amplitud, relación masa suspendida/masa vibrante y características comunes a todo tipo de rodillos como la velocidad y tipo de tracción.

En cada caso será necesario determinar el espesor máximo de la tongada y el número mínimo de pasadas necesario para alcanzar la densidad exigida.

La humedad óptima determinada en el laboratorio sólo puede considerarse como un valor aproximado del óptimo de obra. Mientras que los suelos secos pueden regarse hasta alcanzar una humedad aceptable, los suelos con humedades naturales elevadas pueden ser de difícil (e incluso imposible) compactación. Ésto se refiere particularmente a los suelos cohesivos con humedades naturales próximas al límite plástico. En este caso puede producirse una deformación recuperable que obligue a una compactación gradual empezando con algunas pasadas de máquinas ligeras, al aplazamiento de la compactación e incluso al rechazo del material.

El trabajo de los equipos de compactación debe organizarse de forma que ésta sea lo más uniforme posible, es decir, que todos los puntos de la tongada reciban el mismo número de pasadas de rodillo. En este sentido, es conveniente controlar y ordenar el tráfico de obra de forma que no lleguen a formarse roderas en la superficie de las capas de ejecución.

La subrasante es el soporte natural, gradado y compactado, en el cual se puede construir un pavimento. La preparación de la subrasante incluye:

- Compactación del suelo con unos contenidos de humedad y de densidad que aseguren un soporte uniforme y estable para el pavimento.
- Donde se pueda, construir rasantes lo más altas posibles y zanjas laterales con el fin de incrementar la distancia entre el pavimento y el nivel freático.

Transportar y mezclar los suelos hasta alcanzar unas condiciones de uniformidad en aquellas áreas donde hay un cambio horizontalmente abrupto en el tipo de suelo.

- Usar gradaciones escogidas en las áreas de corte y lleno buscando tener el mejor material en las capas más cercanas a la superficie final de las subbases.

Tratamiento con cemento o con cal, con el fin de mejorar la capacidad de soporte.

Las propiedades de los suelos pueden dividirse en dos categorías:

1. Propiedades físicas: son usadas para selección de materiales, especificaciones constructivas y control de calidad.

2. Propiedades ingenieriles: dan una estimación de la calidad de los materiales para caminos. La calidad de los suelos para subrasantes se puede relacionar con el módulo resiliente, el módulo de Poisson, el valor soporte del suelo y el módulo de reacción de la subrasante.

a) Módulo resiliente de la subrasante: La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método, es el módulo resiliente o elástico. Este módulo se

determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos. Heukelom y Klomp, han encontrado una relación entre el Mr medido en el campo y el CBR cte laboratorio para la misma densidad.

$$\mathbf{Mr (psi) = 1500 CBR}$$

Expresión que se considera razonablemente aproximada para suelos finos con un CBR sumergido no mayor de 10.

Para la utilización del método en Venezuela, por ejemplo, se ha considerado la utilización de las siguientes ecuaciones de correlación:

Para suelos finos:

$$\mathbf{Mr = 1500 \times CBR; \text{ para } CBR < 7.2\%}$$

$$\mathbf{Mr = 3000 \times CBR; 065 \text{ para } CBR \text{ de } 7.2 \text{ a } 20\%}$$

La primera ecuación es la sugerida en la guía AASHTO, mientras que la segunda fue desarrollada en Sudáfrica.

Para suelos granulares, la siguiente ecuación desarrollada con base en la propia guía ofrece una buena correlación:

$$\mathbf{Mr = 4326 \times \ln CBR + 241}$$

Por otra parte, la guía establece un nuevo procedimiento para determinar el valor soporte efectivo de la subrasante, en función de las variaciones climáticas. De acuerdo con el valor Mr estacional se determina un valor de daño relativo (uf) que permite extrapolar y ponderar las características de los suelos a las condiciones climáticas particulares de cada proyecto.

2.2.- ASPECTOS GENERALES DE LOS GEOSINTÉTICOS.-

2.2.1.- Definición de los Geosintéticos

El término **GEOSINTÉTICO** 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

Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos como ser (textiles, caucho, materiales plásticos, membranas bituminosas/polímeros y bentonita), mezclados con fibras naturales, las cuales poseen propiedades Físico-Mecánicas e Hidráulicas, que hacen que su utilización sea apropiada en diferentes obras civiles.

Otra definición proporcionada por la ASTM D - 4439-97: Los geosintéticos son productos elaborados a partir de materiales poliméricos usados en suelos, roca, tierra y otros materiales geotécnicos similares, como una parte integral de proyectos de ingeniería civil, estructuras u otras construcciones elaboradas por el hombre.

Los geosintéticos generalmente son identificados por:

1. Polímero componente.
2. Proceso de fabricación.
3. Tipo primario de geosintético.
4. Masa por unidad de área.
5. Cualquier otra información adicional o propiedades físicas necesarias para describir el material en relación a sus aplicaciones específicas.

Así por ejemplo podemos identificar un geosintético como:

- ✓ Geotextil no tejido agujeteado de polipropileno de 350 g/cm².
- ✓ Geored de polietileno de 440 g/cm² con aberturas de 8 mm.
- ✓ Geomalla biaxial de polipropileno extruído con aberturas de 25×25 mm.
- ✓ Geomembrana de polietileno de alta densidad de 1.5 mm de espesor.

Fuente: PAVCO-AMANCO, “Manual de Diseño” 7ma Edición, Bogotá, Colombia, 2006.

2.2.2.- Componentes de los Geosintéticos

Los geosintéticos poseen dentro de su estructura diferentes elementos dentro de los cuales se encuentran los polímeros y algunas fibras naturales como el algodón, el yute y juncos. Los polímeros más utilizados son el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliéster (PS), el poliuretano (PU) y el policloruro de vinilo (PVC).

- **POLIETILENO (PE):** El polietileno es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

Algunas de las propiedades que hacen del polietileno una materia prima tan conveniente para su utilización en los geosintéticos entre otras podemos mencionar, poco peso, flexibilidad, tenacidad, alta resistencia química y propiedades eléctricas sobresalientes.

- **POLIPROPILENO (PP):** El polipropileno es un plástico muy duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150 °C. Es muy resistente a los golpes aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados por lo que es empleado como material de bisagras. También resiste muy bien los productos corrosivos. Es un material inerte,

compatible con todo tipo de cementos y aditivos, por lo que se utiliza para armar morteros de cemento y en la construcción de materiales geosintéticos.

Tiene muy buenas propiedades mecánicas, algunas de las propiedades más importantes que podemos mencionar de este material son: que es de muy baja densidad, es más rígido que la mayoría de los termoplásticos, posee una gran capacidad de recuperación elástica, tiene una excelente compatibilidad con el medio, es un material fácil de reciclar, alta resistencia al impacto, buena resistencia superficial, tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

- **POLIESTER (PS):** El poliéster es uno de los materiales más empleados en el campo de los geotextiles, son las fibras que, junto a las de vidrio, más se utilizan en la arquitectura textil combinadas con una matriz termoplástica, normalmente policloruro de vinilo (PVC).

Las propiedades del poliéster son elevada estabilidad dimensional, insignificante contracción posterior al moldeo, alta resistencia al calor y cambios bruscos de temperatura, elevada resistencia a la fisuración.

- **POLICLORURO DE VINILO (PVC):** Es una resina termoplástica obtenida a partir de la polimerización de dos materias primas naturales, el cloruro de sodio o sal común (NaCl) y gas natural.

Las propiedades del PVC son: una elevada resistencia a la abrasión, baja densidad (1,4 g/cm³), buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción. Es dúctil y tenaz; presenta estabilidad dimensional y resistencia a la mayoría de agentes químicos.

- **POLIURETANO (PU):** Es una resina sintética que se presenta la mayoría de las veces como una espuma rígida y se utiliza mayormente en la fabricación de georedes debido que presenta una alta resistencia a la deformación por compresión mecánica.

El poliuretano se caracteriza por su alta resistencia a la abrasión, al desgaste, al desgarre, al oxígeno, al ozono y a las temperaturas muy bajas.

2.3.- CLASIFICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS

2.3.1.- Geotextiles

Llamamos geotextil al material textil plano, permeable, de apreciable deformabilidad, formado por fibras poliméricas termoplásticas de diversos orígenes, entre las más utilizadas podemos mencionar a las poliolefinas, poliésteres y poliuretanos. Los geotextiles se clasifican en dos grandes grupos: tejidos y no tejidos; los primeros están formados por dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos u otros elementos entrecruzados perpendicularmente entre sí, formando estructuras bidimensionales; los segundos están constituidos por filamentos repartidos aleatoriamente cuya cohesión, está asegurada por procedimientos mecánicos, térmicos o químicos.

En la mayoría de los casos los geotextiles cumplen con varias funciones, aunque siempre hay alguna de ellas que es la principal. Entre las funciones hidráulicas están la de filtración y drenaje. Entre las funciones mecánicas se pueden destacar la de separación, la de refuerzo y la de protección.

Fig. 2-2 Geotextil

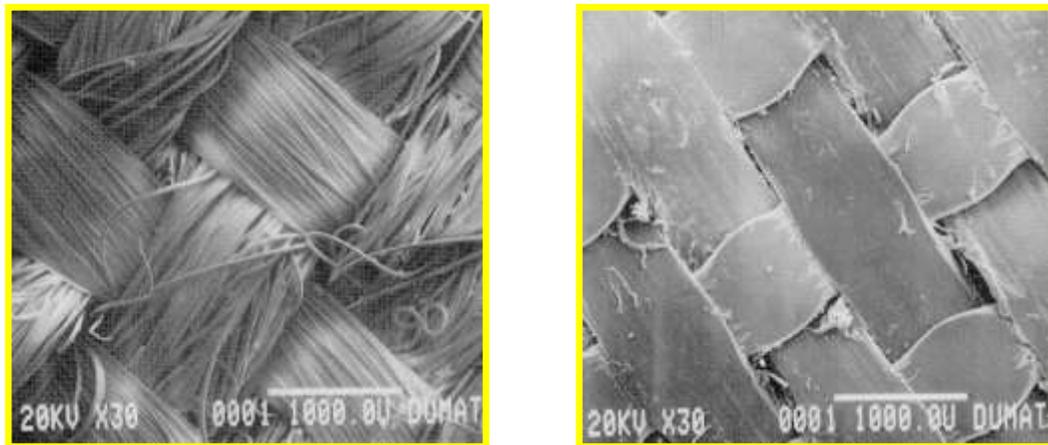


Fuente: Manual de Geosintéticos (2013)

- **GEOTEXTIL TEJIDO.**

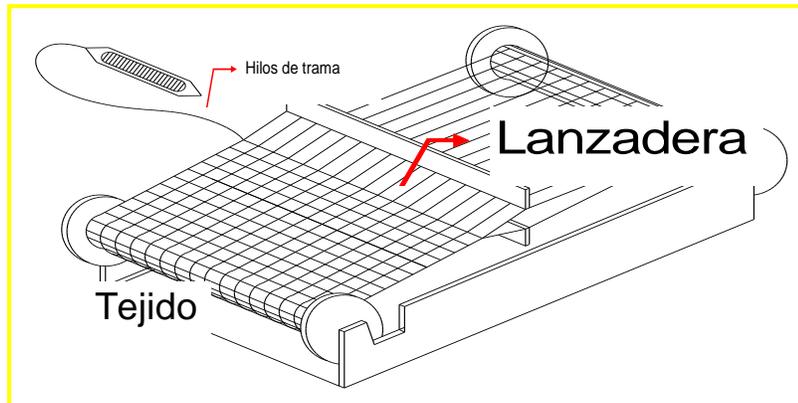
Geotextil fabricado al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos de hilos en dos direcciones preferenciales. Se fabrican con resinas poliméricas biológicas y químicamente inertes, resistentes a las diversas condiciones de los suelos, formando mallas cuyas funciones principales se basan en su capacidad drenante y en su resistencia mecánica a la perforación y tracción. Además de ser empleados en la preparación y sellado de vertederos, son de aplicación en la construcción de subbases de carreteras, repavimentaciones y líneas férreas, en encauzamientos, canales y presas tiende de igual modo entre distintas evitando erosiones, en conducciones y drenajes como protección, en muros de contención, balsas, canales y túneles como refuerzo y drenaje del terreno, etc.

Fig. 2-3 Geotextiles Tejidos



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

Fig. 2-4 Detalle de la Fabricación del Geotextil Tejido



Fuente: Manual de Geosintético (2013).

- **Geotextil NO Tejido**

Consiste en un geotextil en forma de lámina plana, con fibras, filamentos u otros elementos orientados regular o aleatoriamente, unidos químicamente, mecánicamente o por medio de calor, o por combinación de ellos. Pueden ser de fibra cortada o de filamento continuo. Dependiendo de la técnica empleada en la unión de sus filamentos, pueden ser:

1.- Geotextiles no tejidos, unidos mecánicamente.

La unión es mecánica, y en ella un gran número de agujas provistas de espigas atraviesan la estructura en un movimiento alterno rápido.

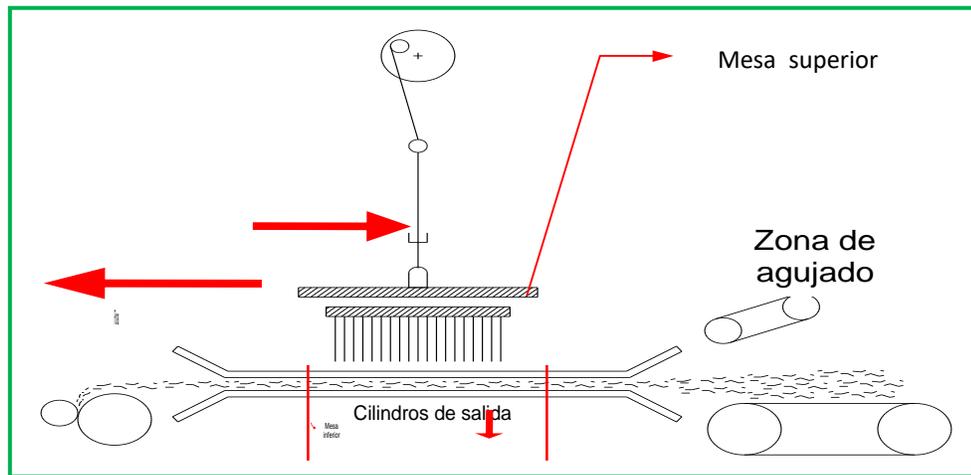
2.- Geotextiles no tejidos, unidos térmicamente.

La unión entre los filamentos se consigue por calandrado (acción conjugada de calor y presión).

3.- Geotextiles no tejidos, unidos químicamente.

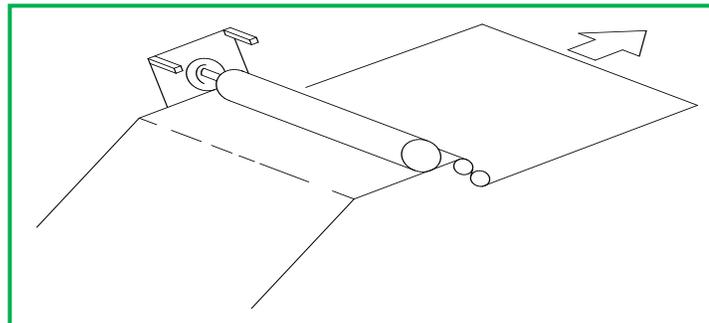
La unión entre sus filamentos se consigue mediante una resina.

Fig. 2-5 Geotextiles NO Tejidos Proceso Mecánico



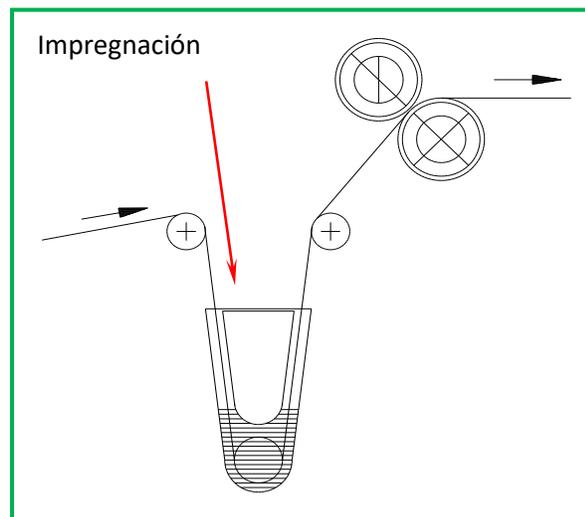
Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

Fig. 2- 6 Geotextiles NO Tejidos Proceso Térmico



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

Fig. 2-7 Geotextiles NO Tejidos Proceso Químico



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

2.3.2.- Geomallas.

Las geomallas son mallas de material polimérico con espacios abiertos (dimensionados para ser compatibles con la granulometría del relleno) llamados “aperturas”, los cuales están delimitados por “costillas”.

Las funciones principales que cumple son de refuerzo y estabilización, se puede usar para trabajos de refuerzo de terraplenes pudiendo así diseñarse taludes más verticales, y para incremento de la capacidad de soporte de bases y subbases de carreteras. También se utilizan en fundaciones, en diques, gaviones, obras marinas y otros.

Las características de las geomallas varían mucho según su composición química, tecnología de fabricación y según las diferentes patentes existentes en el mercado. Así, se pueden encontrar geomallas de diferentes materiales y formas, con diferentes tecnologías de unión en las juntas, con distintas aperturas de malla, con distintos espesores. Todas estas variaciones, obviamente, dan como resultado diferentes propiedades mecánicas y diferentes comportamientos, lo que deberá tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la malla más adecuada para una aplicación determinada.

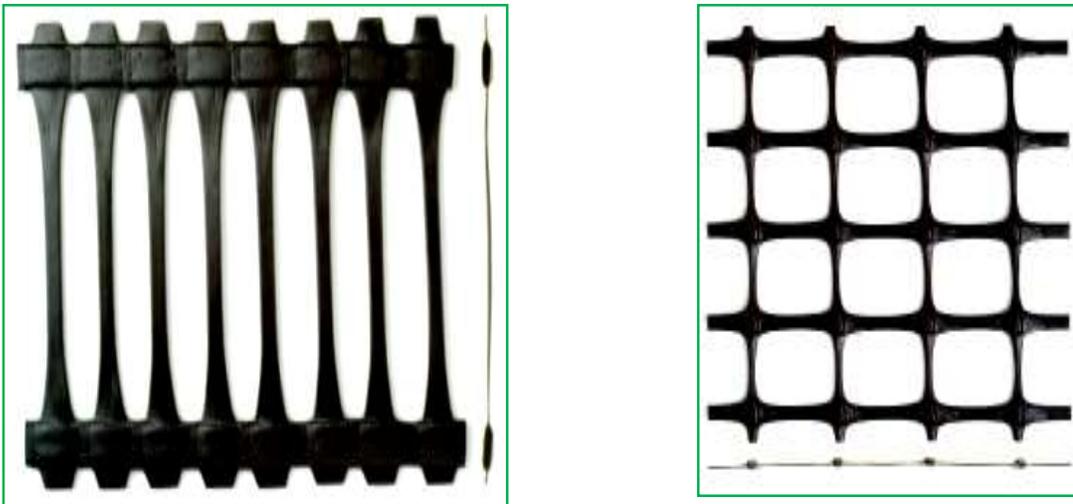
Dentro de las geomallas pueden ser distinguidos los siguientes tipos:

- 1.- Geomallas extruidas
- 2.- Geomallas Tejidas
- 3.-Geomallas por adhesión o sobre posición de fibras

- **GEOMALLAS EXTRUÍDAS**

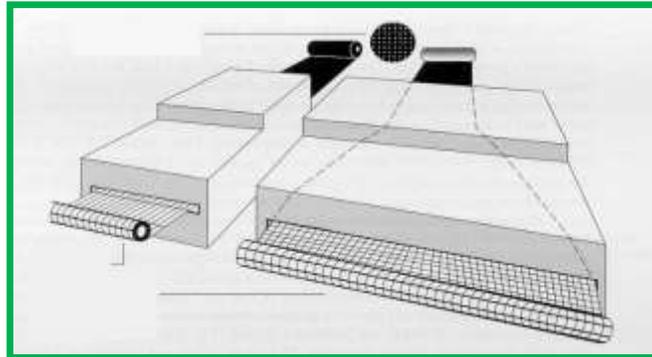
Son estructuras planas fabricadas de materiales poliméricos a través de un proceso de extrusión y un sucesivo estiramiento, que puede ser en una sola dirección (unidireccional, uní axial, mono direccional, caracterizadas por una resistencia a la tracción en el sentido longitudinal entre 60 y 200 KN/m) o en las dos direcciones principales (bidireccional, biaxial, biorientada, caracterizadas por una resistencia menor, prácticamente igual en los dos sentidos en un rango de 20 a 30 KN/m).

Fig. 2-8 Geomallas Extruidas



Fuente: Manual de geosintéticos (2013).

Fig. 2-9 Proceso de Fabricación de las Geomallas Extruídas

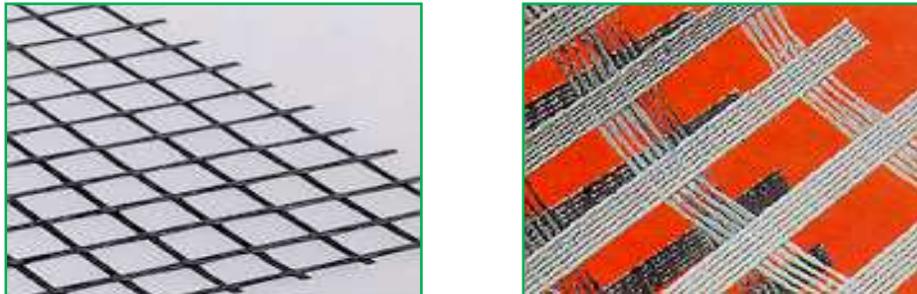


Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

- **Geomallas Tejidas**

Son estructuras planas en forma de red, fabricadas a través del entrelazamiento (en ángulos rectos) de fibras sintéticas con un elevado módulo de resistencia generalmente recubierta por una capa protectora, también en un material sintético (generalmente PVC).

Fig. 2-10 Geomallas Tejidas



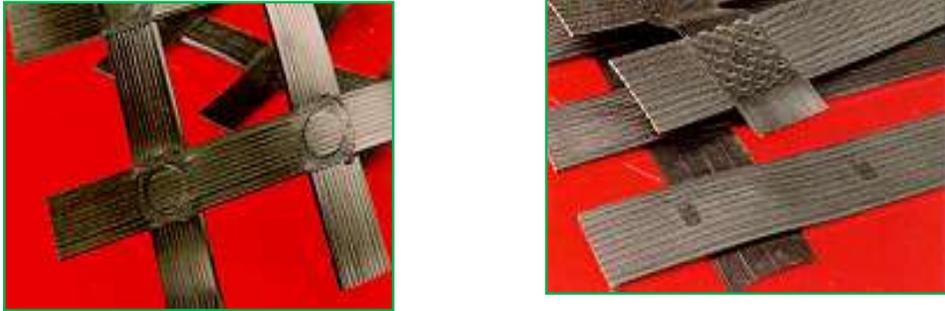
Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

- **Geomallas por Adhesión o sobre posición de Fibras**

Son estructuras planas producidas por la sobreposición y la sucesiva soldadura (adhesión), generalmente en ángulos rectos de las “geocintas” formadas por un núcleo en poliéster de alta resistencia revestido por una capa de protección en

polipropileno. Ese tipo de geomalla es la más resistente a la tracción longitudinal alcanzando los 1200 KN/m.

Fig. 2-11. Geomallas por Adhesión o sobre Posición de Fibras



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

- Propiedades de las Geomallas

- a. Gran fortaleza en las uniones, para garantizar la transferencia de cargas a lo largo y lo ancho de la malla.
- b. Estructura de malla abierta. Para interactuar con materiales de relleno y formar así un material compuesto con una capacidad de carga mucho mayor.
- c. Rigidez torsional, para simplificar la instalación y ofrecer resistencia a la deformación una vez instalada.
- d. Módulo de alta resistencia a la tracción para resistir las cargas dinámicas.
- e. Durabilidad para sobrevivir a los esfuerzos de la instalación y resistir la degradación una vez instalada.

2.3.3.- Georedes

Las georedes están compuestas por una estructura de dos y tres dimensiones de capas y filamentos paralelos entretejidos que crean canales de gran capacidad de flujo y drenaje. Se construyen por extrusión de Polietileno de Alta Densidad (High-Density

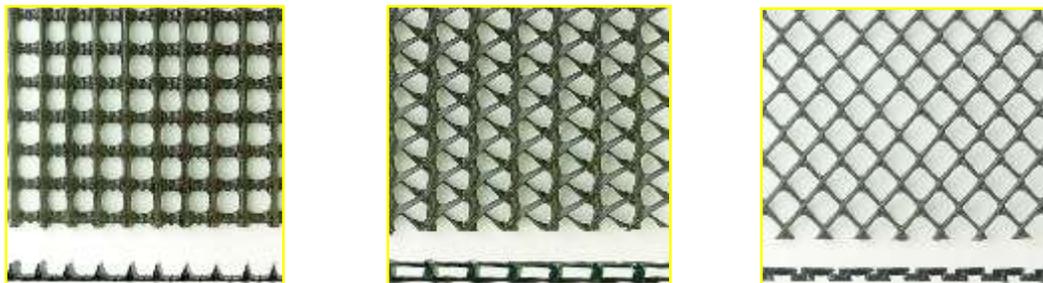
Polyethylene, HDPE) y son resistentes a agentes químicos y biológicos que normalmente presentan el suelo y los desechos. También se utilizan para resistir la degradación de rayos ultravioleta (UV).

Las georedes biplanares incorporan 2 nervaduras superpuestas en ángulo respecto a la dirección del flujo de los líquidos. Estas uniones se dirigen en la dirección del flujo.

Por todo ello, se han desarrollado estructuras tridimensionales con elementos verticales rígidos. Sus nervaduras aumentan significativamente la capacidad de tensión y resistencia a la compresión de la geored. Estas nervaduras están también soportadas por estructuras planas que reducen la intrusión y pérdida de flujo de la sección de drenaje. El conjunto permite obtener altos índices de flujo en la vida útil de la estructura, y no solo por algunas horas. En la geored biplanar, por tanto, el flujo es igual en todas las direcciones mientras que en el triplanar es mucho mayor.

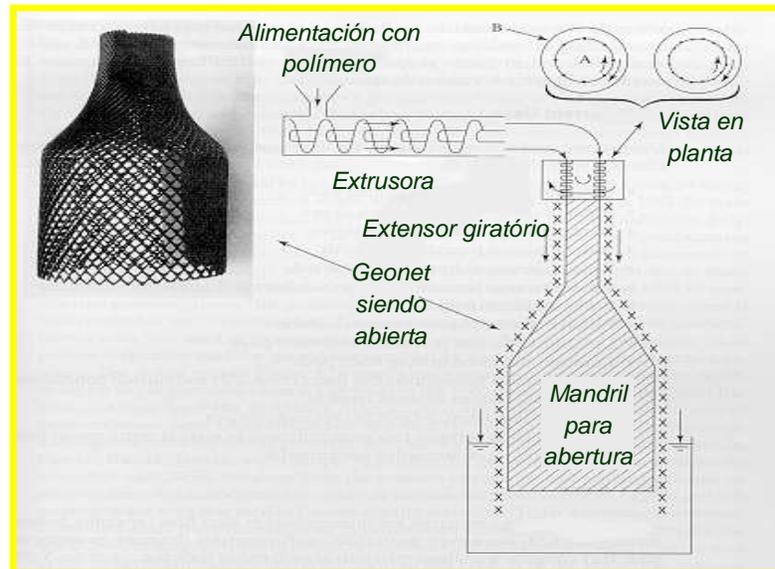
Las georedes sustituyen a los materiales naturales como arena y grava, y resuelven gran parte de los problemas asociados a los materiales naturales. De hecho, el uso de materiales naturales crea limitaciones de construcción y calidad tales como: estabilidad de taludes laterales, daños a las geomembranas y consistencia en la calidad y los espesores de los rellenos.

Fig. 2-12 Georedes



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

Fig. 2-13 Proceso de Producción



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

Las georedes generalmente son utilizadas en conjunto con geotextiles como filtros y/o geomembranas como elementos de retención, ejerciendo la función de drenaje, o sea, transporte planar de fluidos a lo largo de su propia estructura, con una óptima resistencia a los esfuerzos de compresión.

2.3.4.- Geomembranas

Son láminas de impermeabilización, cuya función principal es evitar el paso de agua y que se emplean en sistemas de impermeabilización tales como: túneles, vertederos, depósitos, almacenamiento de agua ó cubiertas planas de edificación.

Están fabricadas por diferentes tipos de resinas: caucho sintético, polipropileno, clorosulfonado, cloruro de polivinilo, polietileno de alta, media y de baja densidad.

La aplicación principal de las geomembranas es la impermeabilización en obras civiles, geotécnicas y ambientales en trabajos de manejo de desechos sólidos, rellenos

sanitarios, lagunas de oxidación, minería, riego, acuicultura, agricultura, proyectos hidráulicos, canales de conducción, almacenamiento, lagunas de tratamiento de desechos de crudo, etc.

Se clasifican en los siguientes tipos:

- **GEOMEMBRANAS DE PVC** (Cloruro de Polivinilo): Son láminas impermeables fabricadas con resinas de PVC utilizando tecnologías que garantizan la calidad y uniformidad de la membrana.

- **GEOMEMBRANAS DE POLIETILENO**: Son láminas impermeables fabricadas a partir de resinas poliméricas formuladas para determinados usos cuya principal característica es una baja permeabilidad, flexibilidad y una alta resistencia, y su aplicación es la contención de líquidos.

-**GEOMEMBRANA DE POLIPROPILENO (PP)**: Los revestimientos de polipropileno reforzados con tela son livianos, lo que le permite gran flexibilidad para la fabricación de paneles de gran tamaño. Presentan una excelente estabilidad dimensional y características óptimas para su instalación en superficies planas, así como gran resistencia a las bajas temperaturas y a las rajaduras provocadas por condiciones ambientales. Son ideales para contener hidrocarburos.

- **GEOMEMBRANA DE POLIURETANO (PU)**: Consiste en una capa de uretano cubierta de material poliéster, haciéndola extremadamente flexible y resistente a la penetración.

Diseñadas especialmente para contención secundaria de combustibles tales como combustibles diesel, combustibles de avión, y gasolinas que contengan un máximo de 40% de volátiles. Ofrece asimismo excelentes características para la contención de amplias áreas principalmente las de contención bajo tierra, además de ofrecer resistencia a una amplia gama de químicos y combustibles.

2.3.5.- Geoceldas.-

Un material ideal para utilizar en aplicaciones de ingeniería civil ha de ser aquél que proporcione una buena compactación y que permita el drenaje del agua con libertad. Con frecuencia nos encontramos que los terrenos con una buena capacidad de drenaje son difíciles de confinar in situ. La geocelda proporciona la solución para conseguir un confinamiento del terreno o de materiales granulares, con un buen drenaje.

Fig. 2-14 Geoceldas



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

Una ventaja adicional de este tipo de construcción es que las celdas exteriores pueden rellenarse con tierra vegetal, lo que va a proporcionar a la pared exterior del muro un aspecto agradable, reduciéndose asimismo el flujo de agua en la cara exterior.

Un muro de contención celular se utiliza en situaciones tanto de relleno como de recorte. Las geoceldas no sólo retienen el terreno en su sitio, sino que además proporcionan el drenaje de toda la estructura.

Las uniones de una geoceldas deben soportar 140 N por centímetro de espesor de la geocelda según lo estipulado en el Informe Técnico del U.S. Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense).

- ✓ Una soldadura de 102 mm soporta:
- ✓ Una carga de 72,5 kg durante un mínimo de 30 días

- ✓ Una carga de 72,5 kg durante un mínimo de 7 días mientras experimenta un cambio de temperatura de 23° C a 54° C en un ciclo de 1 hora de duración.

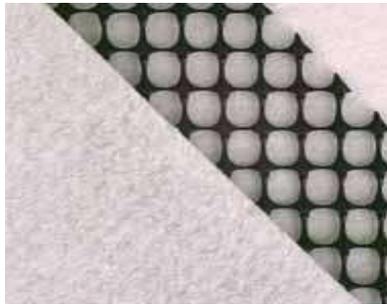
2.3.6.- Geocompuestos

Nombre genérico para definir una estructura formada de productos geosintéticos distintos, utilizada en aplicaciones de ingeniería, geotecnia e hidráulica.

- **Geocompuestos Drenantes.**

Están formados por una geored que es un material formado por dos hilos superpuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) que forman canales con alta capacidad de evacuación de agua, incluso cuando se colocan horizontalmente y se someten a grandes cargas y por uno o dos geotextiles no tejidos (según la aplicación), que actúan como elementos separadores, protectores, filtrantes y anticontaminantes de finos.

Fig.2-15 Geocompuestos



Geocompuesto con geomalla



Geocompuesto con geotextil

Fuente: Manual de Geosintéticos (2013).

- Propiedades de los Geocompuestos

a) Son productos muy robustos, con resistencias al aplastamiento superiores a los 1,000 kPa (equivalentes a unos 50 m de tierra).

b) La pérdida de espesor al aumentar la presión es mínima, lo cual garantiza una elevada capacidad drenante bajo cualquier carga. En el mercado existen geocompuestos con capacidades drenantes superiores a los 8 a 500 kPa y gradiente hidráulico unidad.

c) Tienen un comportamiento excelente a largo plazo ya que la fluencia del material, o reducción del espesor a carga constante con el tiempo, es mínima. La diferencia entre los espesores de las georedes sometidas a 200 kPa y los mismos espesores medidos 1,000 horas es inferior al 3 %.

d) Elevada resistencia a la tracción, muy superior a las tracciones que recibirá durante la instalación.

e) Son duraderos puesto que el HDPE y el PP son materiales químicamente inertes, imputrescibles, insensibles a los agentes atmosféricos y a las aguas salobres y resistentes a la oxidación y a los microorganismos. Además estos materiales no producen efectos negativos al medio ambiente.

f) Son productos ligeros y flexibles que se adaptan a las pequeñas irregularidades del terreno.

g) Tienen espesores reducidos, por lo que son fáciles de transportar y almacenar. (Un camión trailer puede almacenar unos 10,000 m² de material, si se requiere drenar la misma superficie con grava, se necesitarían entre 30 y 60 camiones, dependiendo del espesor de la capa drenante).

Fuente: Tesis "Aplicación de los Geosintéticos en la Estructura de los Pavimentos y en Obras de Drenaje para Carreteras" (Jony Francinny Díaz González y Oscar Eduardo Escobar, 2007)

2.4.- FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS GEOSINTÉTICOS

Los materiales geosintéticos realizan cinco funciones principales: separación, refuerzo, filtración, drenaje y barrera contra el paso de líquidos. El uso de geosintéticos tiene básicamente dos objetivos: hacer bien el trabajo (por ejemplo, sin deterioro del material o fugas excesivas) y hacerlo más económicamente (por medio de un bajo costo inicial o por medio e mayor durabilidad y vida más larga, reduciendo de esta manera los costos de mantenimiento).

Una función de un geosintético se refiere al papel específico que realiza un geosintético en una estructura de suelo/geosintético. La función es una tarea o capacidad específica que se espera que el producto realice durante la totalidad del proyecto o la instalación.

Tabla 2-2

TABLA DE FUNCIONES DE LOS GEOSINTÉTICOS

	GEOTEXTILES	GEOCOMPUESTOS	GEOMEMBRANAS	GEOMALLAS
1-En ciertas aplicaciones de rellenos sanitarios 2-Cuando está saturado con una capa ligante en una aplicación de sobrecarpeta.				
SEPARACION	✓			
FILTRACION	✓	✓		
REFUERZO	✓			✓
TRANSMISION	✓ ₁	✓		
PROTECCION	✓			
BARRERA	✓ ₂		✓	

Fuente: Geosintéticos Lafayette (2005)

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.

2.4.1.- Separación:

Se puede usar los geosintéticos (geotextiles), para separar las capas de la estructura de soporte de la vía, con diferentes propiedades y tamaños de agregados.

El paso de los vehículos sobre la capa de rodamiento, causa el movimiento de las partículas de las capas inferiores, como resultado de esto, los finos de la subrasante pueden ser bombeados hacia arriba, dentro de las capas granulares, reduciendo la resistencia y la capacidad de drenaje de esas capas. Además, los geosintéticos pueden reducir la penetración de las partículas granulares dentro de una subrasante blanda, manteniendo de esta manera el espesor y la integridad de las capas granulares, incrementando además la vida de servicio de la vía. Para cumplir con esta función, el geosintético debe ser resistente a los esfuerzos concentrados (tracción y punzonamiento) y tener aberturas compatibles con los tamaños de las partículas del material a ser retenido.

Fig. 2-16 Función de Separación



Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013).

La disipación de la presión ocurre hacia abajo a través de las diferentes capas de materiales dentro del pavimento como se muestra en la Fig. 2 -16. Y con el paso del tiempo la carga aplicada por los vehículos causa que la tierra de la subrasante migre hacia el interior de la base de agregado de la sección del pavimento. La contaminación

de la base de agregado por la subrasante da como resultado una reducción del espesor efectivo de la base a menos del que era parte del diseño original. Este concepto se ilustra en la Fig. 2-17.

Fig. 2-17 Función de Separación

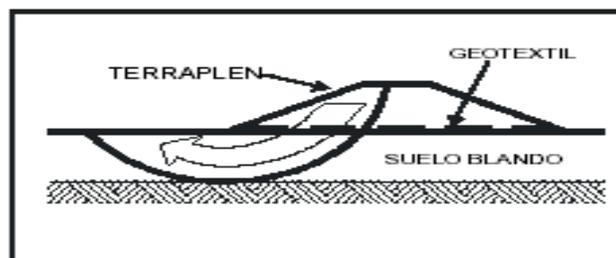


Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

2.4.2.- Refuerzo:

Los geosintéticos (geotextiles, geomallas y geoceldas) instalados sobre subrasantes inestables, pueden eliminar la necesidad de reemplazar estos suelos, incrementando la capacidad de carga del sistema, debido a una mejor distribución de esfuerzos. Cuando se instalan dentro de las capas de base o subbase, los geosintéticos pueden ayudar a reducir los asentamientos asociados con la dispersión lateral de los materiales de base y subbase. Las características principales que deben considerarse para esta función son la interacción entre geosintético - suelo, resistencia al daño mecánico, módulo de rigidez tensional y resistencia tensional.

Fig. 2-18 Función de Reforzamiento



Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

Para lograr la estabilización de una subrasante se debe determinar correctamente un espesor de material granular apropiado que en conjunto con un geosintético de refuerzo permitan brindar una plataforma de trabajo estable logrando la **estabilización** mecánica de la subrasante.

Por todo lo anterior, se han estudiado los efectos del uso de geosintéticos en la estructura de pavimento, en particular su utilización sobre la capa de subrasante en la interfase subrasante – capa granular. El geosintético de refuerzo permite incrementar la capacidad portante del sistema que conforma la estructura de pavimento, lo que se puede traducir, en un mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que hacen parte de la capa granular o en un incremento de la vida útil de la vía. De igual manera, al mejorar las condiciones mecánicas de la estructura de pavimento se puede obtener un aumento del tránsito de diseño, evaluado con la cantidad de ejes equivalentes que van a pasar durante el período de operación de la vía. En resumen, los efectos de la utilización de un geosintético de refuerzo sobre la capa de subrasante de una estructura de pavimento son los siguientes:

- Incremento de la capacidad portante del sistema.
- Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales
- Incremento de la vida útil de la vía.
- Aumento de los ejes equivalentes del diseño de la vía.

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 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 geotextiles 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 geotextiles permite la aplicación de mayores cargas y un aumento de la vida útil de la estructura de pavimento.

Para que un geotextil 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 geotextil para la función de separación, por lo tanto se debe chequear la metodología realizada para esta aplicación. (Ver Capítulo 4 – Separación de capas granulares y subrasante en vías).

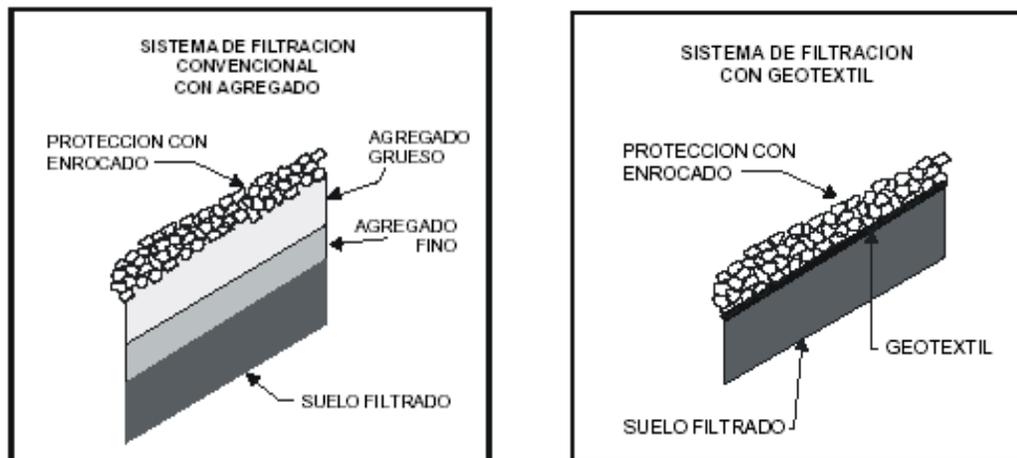
El refuerzo con geotextiles permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el suelo y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión. Cuando se aplica una carga en la superficie 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 geotextil, reduciendo así los esfuerzos aplicados en el suelo que se encuentra bajo el geotextil (parte convexa del geotextil). 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.

Como se muestra en la figura anterior, en un dique reforzado con geosintético construido sobre un suelo blando, las capas de geosintéticos son colocadas a través de los planos rotacionales de fallo potenciales para ser soportadas las fuerzas de tensión que no pueden ser por una masa del suelo sin reforzar.

2.4.3.- Filtración

El flujo de agua de la subrasante hacia las capas granulares superiores puede transportar los finos de la misma. Esto puede ocurrir debido al incremento en los niveles de esfuerzos en la subrasante debido al tráfico. En este caso, un geotextil puede actuar como un filtro, permitiendo el paso libre del agua al mismo tiempo que retiene las partículas sólidas de la subrasante. Para cumplir este rol, el geotextil debe tener propiedades de retención y permeabilidad adecuadas y ser resistente a la colmatación (reducción de permeabilidad debido a la acumulación de finos).

Fig. 2-19 Función de Filtración



Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

La función de filtración tiene dos objetivos concurrentes. Estos son el retener las partículas del suelo filtrado mientras permite el paso del agua a través del plano del geosintético proveniente del suelo filtrado. Estas dos funciones paralelas son la clave para el diseño de filtración.

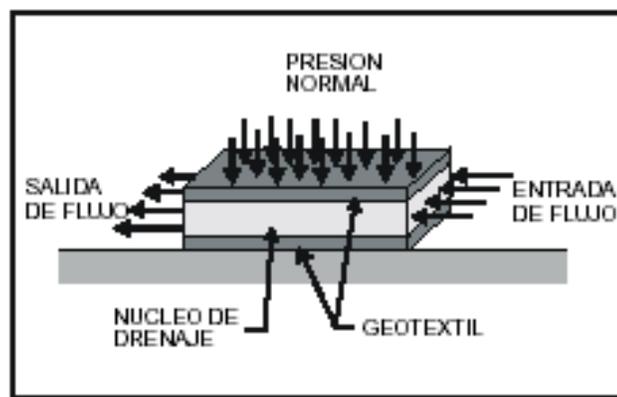
En ambas funciones, filtración y separación, el agua pasa a través del geosintético.

A este respecto, ocasionalmente se crea cierta confusión entre las funciones de separación y filtración.

2.4.4.- Transmisión

En la función de transmisión, los líquidos o gases son transportados (o transmitidos) dentro del plano del geosintético. Esto es diferente a la función de filtración que involucra el flujo a través del plano del geosintético. Esta función es comúnmente asociada con compuestos geosintéticos particularmente aquellos que incorporan una red de drenaje o un núcleo permeable unido en uno a ambos lados a un geosintético

Fig. 2-20 Función de Transmisión

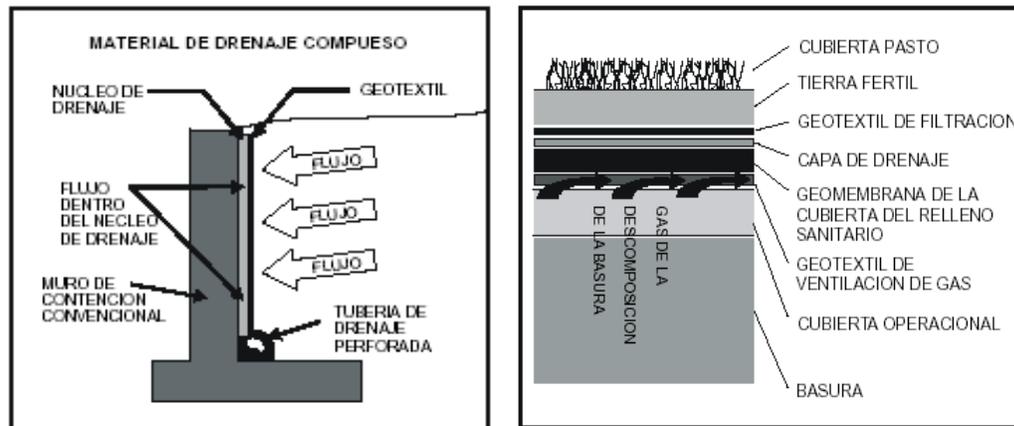


Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

El fluido entra al compuesto a través del geosintético y es llevado en los canales del núcleo a un punto deseado en la aplicación. Como se muestra en la Fig. 2-19, un compuesto de geosintético/núcleo de drenaje puede proveer un drenaje adyacente a la superficie de un muro de contención.

Un geosintético por si solo puede también ser usado en la función de transmisión. Un ejemplo es el uso de un geosintético para proveer un medio de transmisión y captura del gas metano debajo de una geomembrana en la tapa de un relleno sanitario como se muestra en la Fig. 2-21.

Fig. 2-21 Función de Transmisión



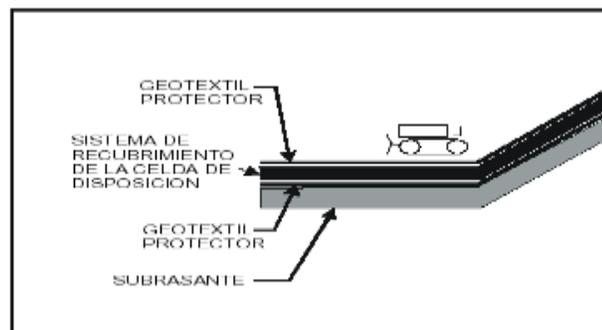
Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

2.4.5.- Protección

La función de protección se refiere al uso de un geosintético para proteger otro componente dentro de una aplicación completa.

La función de protección típicamente se refiere al uso de un geotextil para proteger una geomembrana de ser dañada por partículas de rocas, escombros u otros materiales. Esta función es comúnmente usada en las aplicaciones de rellenos sanitarios.

Fig. 2-22 Función de Protección

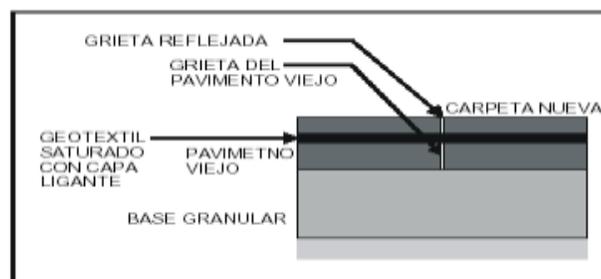


Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

2.4.6.- Barrera Impermeable:

Los geosintéticos actúan como una barrera impermeable para fluidos entre las capas de los pavimentos y/o encapsulación de suelos expansivos entre otros. Por ejemplo, geomembranas, películas finas de geotextil y geotextiles impregnados con asfalto, elastómeros u otro tipo de mezclas poliméricas son usados como barreras que impiden el flujo de líquidos.

Fig. 2-23 Función de Barrera



Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

En esta aplicación, el geotextil es saturado con un material basado en asfalto (capa ligante) y el nuevo pavimento es colocado directamente sobre el geotextil. La combinación de capa ligante/geotextil previene el movimiento de agua de la superficie de la carpeta hacia las capas la subrasante. El agua dentro de la sección de pavimento reduce el desempeño del camino. Usando un geotextil en esta aplicación se incrementa la vida de diseño del camino.

Fuente: Simposio Nacional de Geotextil, los Goetextiles en la Infraestructura de las Obras Publicas, Madrid España 1989.

2.5.- Propiedades Físicas de los Geosintéticos

La determinación de las propiedades físicas de los geosintéticos tiene como objetivo principal la caracterización del producto y su control de calidad. Las más importantes son: gramaje (masa por unidad de superficie), espesor y porosidad. Los ensayos para

la determinación de estas propiedades han sido normalizados en varios países y propuestas de normas internacionales.

Debido a la heterogeneidad inherente al proceso de fabricación de los geosintéticos, los resultados de los ensayos, generalmente indican el valor medio obtenido y el coeficiente de variación observado.

Las características físico - mecánicas determinan el campo de aplicación de los geosintéticos.

- Gramaje (Masa por Unidad de Superficie)

El gramaje es uno de los parámetros más utilizados para la identificación de los geosintéticos no tejidos. Él es definido como la masa por unidad de área y se expresa en gramos por metro cuadrado (g/m^2). Permite un control simple y sencillo del geosintético, no debe, sin embargo, considerarse como el único control para su identificación. Las varias normas existentes se basan en el pesaje de cuerpos de prueba de áreas definidas (generalmente 100cm^2).

-Espesor

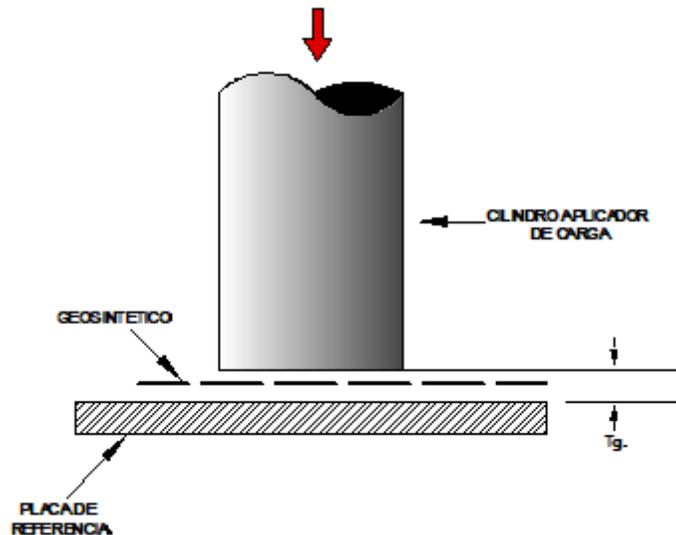
El espesor de un geotextil está influenciado por su tipo y la presión aplicada sobre él. Según el procedimiento de fabricación, los geotextiles pueden ser más o menos compresibles perpendicularmente a su plano, lo que va a influir fundamentalmente en sus características hidráulicas y mecánicas.

Como el espesor del geosintético varía en función de la carga a que el mismo es sometido, su determinación se hace sobre ciertos niveles de carga preestablecidos. Estos niveles son generalmente: 2, 20, 200 KN/ m^2 .

- ✓ Sobrecarga de 2 kPa para medida de identificación.
- ✓ Sobrecarga de 20 kPa y/o
- ✓ 200 kPa para aproximarse a las condiciones de empleo

Se denomina "espesor nominal" al valor obtenido para una sobrecarga de 2kPa. El ensayo consiste básicamente en medir la distancia entre dos superficies rígidas paralelas que comprimen la muestra del geotextil a una presión dada. La Fig. 2-23 representa el esquema del ensayo.

Fig. 2-24 Esquema del Ensayo de Espesor



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013)

- Porosidad

La porosidad es una característica importante de los geotextiles no tejidos. Ella es definida como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la muestra, se obtiene a través de la expresión:

$$n_g = \frac{V_v}{V} = 1 - \frac{Y}{Y_f} = 1 - \frac{\mu}{T_g * \rho_f * \gamma_a}$$

Dónde:

V_v = Volumen de vacíos del geotextil

V = Volumen total del geotextil

T_g = Espesor del geotextil

γ = Peso específico total del geotextil

γ_f = Peso específico de la fibra (densidad de la fibra multiplicada por el peso específico del agua)

μ = Gramaje del geotextil

ρ = Densidad de la fibra

γ_a = Peso específico del agua a 4°C

2.6.- PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONJUNTO SUELO-GEOSINTÉTICO

Los ensayos realizados para estudiar el comportamiento mecánico del sistema suelo-geosintético buscan simular las situaciones reales del campo y cuantificar parámetros para la utilización directa en proyectos. Se encuentran actualmente en investigación en varios países no estando todavía normalizados.

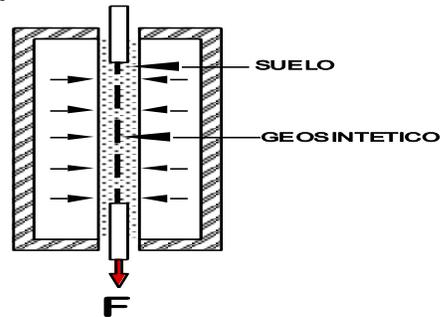
- Resistencia a la Tracción Confinada

Este ensayo es de fundamental importancia principalmente en los casos donde el geosintético trabaja como "armadura" del suelo.

Proporciona parámetros más precisos para el proyecto, pues generalmente la resistencia a la tracción confinada es mayor que a la no confinada, lo mismo ocurre con el módulo de rigidez, particularmente en el caso de los no tejidos.

Este ensayo permite también detectar problemas tales como los rasgados provocados por los materiales muy angulares.

Fig. 2-25 Esquema del Equipo para el ensayo de Tracción Confinada

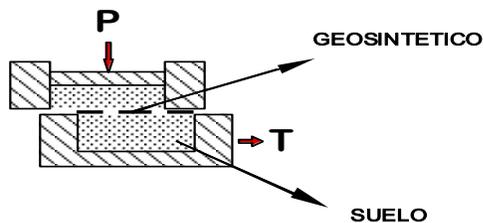


Fuente: Manual de Geosintéticos (2013)

- Resistencia al Cizallamiento Directo

El geosintético puede estar sometido al cizallamiento directo cuando se encuentra inmerso en una masa del suelo, o separando dos tipos de materiales diferentes. En este último caso es interesante considerar cual es el material que estaría sufriendo dislocamiento.

Fig. 2-26 Esquema de Equipo para Ensayo de Cizallamiento Directo



Fuente: Manual de Geosintéticos (2013)

Para simular las diversas condiciones de solicitaciones tenemos a continuación:

- **Suelo - Geosintético – Suelo**

-Considera la posibilidad de tener el mismo suelo en las capas inferior y superior, o dos tipos de suelo diferentes.

- **Suelo -geosintético- base rígida**

-Base Lisa: El geotextil es retenido y se apoya sobre una base lisa indeformable, simulando situaciones donde la fricción entre el geotextil y el material de la base sería despreciable.

-Base rugosa o pegada: La base rugosa puede ser el propio material de contacto (madera, concreto, etc.), o el geotextil puede ser colocado en la base, simulando situación de total adherencia.

Fig. 2-27

Revestimiento de taludes

Canales - barrancos

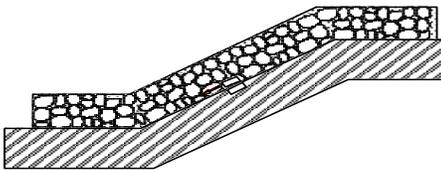


Fig. 2-28

Revestimiento

de Carreteras

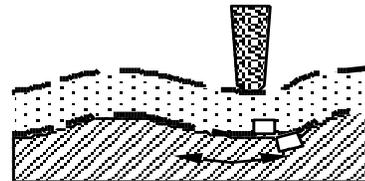


Fig. 2-29 Rellenos – Superficie de Ruptura sobre el Geosintético

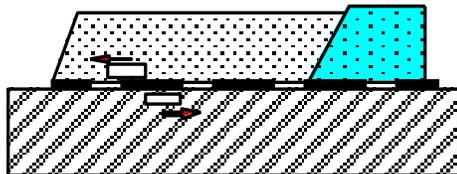


Fig. 2-30 Rellenos Ruptura de la Fundación

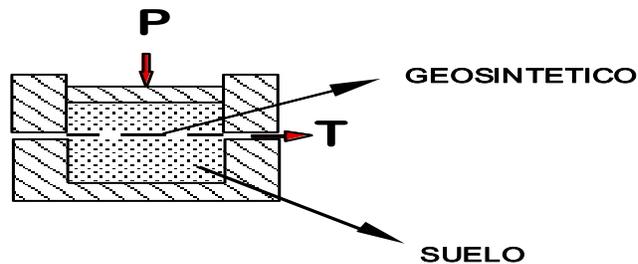


Fuente: Manual de Geosintéticos (2013)

- Resistencia al Arrancamiento

Generalmente usado para estudiar el comportamiento del geosintético en la sección de estancamiento o anclaje. El sistema puede ser el mismo que el utilizado para la tracción, confinada; pero en este caso el geosintético tiene su extremidad posterior libre.

Fig. 2-31 Esquema del Equipo para el Ensayo al Arrancamiento



Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos

A continuación se muestra las situaciones prácticas donde el geosintético queda sometido al arrancamiento.

Fig. 2-32

**Geosintético sometido al
Arrancamiento (muros)**

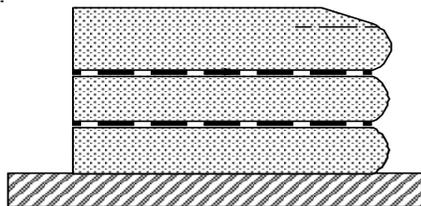
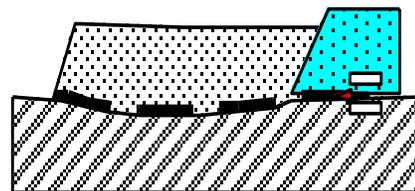


Fig. 2-33

**Geosintético sometido al
Arrancamiento (terraplén)**



Fuente: Simposio sobre geosintéticos (2013)

2.7.- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS GEOSINTÉTICOS

- Resistencia a la Propagación del Rasgado o Desgarro

La resistencia al desgarro indica la fuerza que opone un geosintético a la propagación de una rotura local producida accidentalmente en él. Se mide en sentido paralelo a la fabricación y perpendicularmente a éste.

La tensión de rotura y el alargamiento en la rotura tienen, una importancia primordial cuando el geosintético va a realizar un papel de armadura.

En esencia el procedimiento operativo consiste en colocar una probeta entre las mordazas de la máquina de ensayo a tracción, fijándola adecuadamente en toda su ancho y someterla a un esfuerzo longitudinal con velocidad de deformación constante hasta producir su rotura.

Como el geosintético puede ser accidentalmente perforado en la obra, es interesante que él imponga una cierta resistencia a la propagación de los daños casualmente ocurridos, de ahí el sentido de hacer el ensayo midiendo la fuerza para que, junto a una incisión previamente ejecutada, surja un proceso de ruptura, en la actualidad se tiene un ensayo donde la muestra tiene forma trapezoidal, éste es el más empleado para los geosintéticos.

Mediante este ensayo se determina en los sentidos de fabricación y perpendicular a este: la carga de rotura y el alargamiento de rotura, así como la carga máxima y alargamiento para la carga máxima.

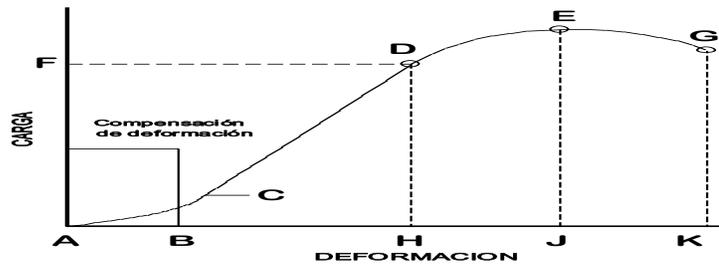
Deformación para la carga de rotura.— La deformación experimentada por la probeta entre el punto de partida (Punto A en la Fig. 2-33) y el correspondiente a carga de rotura (Punto G en la Fig. 2-33)

Carga de rotura. Fuerza de tracción para la cual rompe la probeta (Punto G en la Fig. 2-33)

Carga máxima.— La fuerza máxima de tracción alcanzada durante el ensayo (Punto E en la Fig. 2-33)

Deformación para la carga máxima.— La deformación experimentada por la probeta entre el punto de partida (Punto A en la Fig. 2-33) y el correspondiente a la carga máxima (Punto E en la Fig. 2-33).

Fig. 2-34 Diagrama Típico Carga - Deformación



Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

- Resistencia a la Perforación

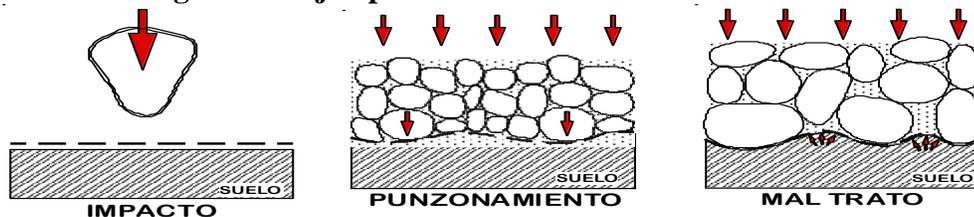
En varios problemas geotécnicos, la manta del geosintético puede estar sujeta a sufrir la penetración de un objeto o penetrar en un espacio vacío. Normalmente se estudian tres tipos básicos de perforación:

-**Por Impacto:** penetración de un objeto a consecuencia de un efecto dinámico. Este parámetro determina la vulnerabilidad de los geosintéticos a los impactos producidos por la caída de materiales durante su puesta en obra.

-**Por Punzonamiento:** penetración de un objeto presionado estáticamente sobre la manta.

-**Por maltrato:** penetración de la manta presionada a través de un espacio vacío.

Fig. 2-35 Ejemplos de Situaciones de Perforación



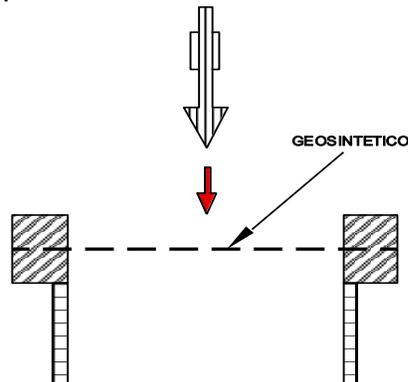
Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

- **Resistencia a la Perforación por Impacto.**

Los ensayos realizados para estudiar la resistencia de un geosintético a la perforación por impacto de un objeto puntiagudo, consiste básicamente en la medida del diámetro

del agujero, o de la energía necesaria de la perforación de un cono o pirámide, en caída libre sobre una manta fijada sobre un cilindro vacío o presionado por agua o suelo.

Fig. 2-36 Esquema del ensayo de Resistencia a la Perforación



Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

- **Resistencia a la Perforación por Punzonamiento**

La resistencia a la perforación por punzonamiento mide el comportamiento de un geotextil bajo una carga estática, como sucede por ejemplo, al compactar el material de relleno. Se determina la carga de ruptura por punzonamiento mediante un émbolo aplicado a una prensa.

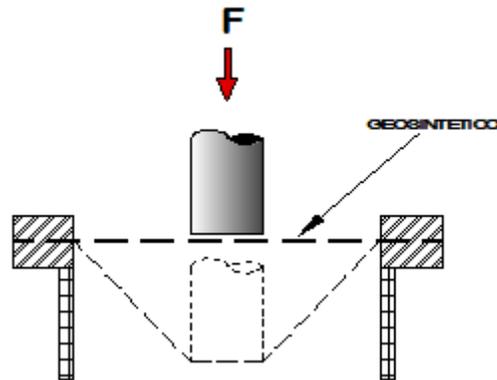
Este ensayo tiene por objeto conocer el comportamiento del geosintético sobre el efecto de una carga concentrada aplicada en la dirección normal a la manta. Consiste en la penetración, a velocidad constante, de un punzón sobre el geosintético firmemente fijado en el tipo de un cilindro estandarizado.

La dimensión y la forma del punzón son de fundamental importancia, pues pueden simular la penetración de un objeto puntiagudo o redondeado, dos situaciones bastante comunes en la geotecnia, que podríamos presentar, en función del tipo de geosintéticos valores de resistencia considerablemente diferentes.

Como los ensayos normalmente realizados no consideran el efecto del suelo, sus

resultados sólo pueden ser utilizados indirectamente.

Fig. 2-37 Esquema del Ensayo de Punzonamiento



Fuente: Simposio Sobre Geosintéticos (2013)

Para la realización de este ensayo, casi todas las normas recurren al empleo de un molde CBR modificado. En el ensayo se describe un método para la determinación de la resistencia al punzonamiento mediante la medida de la fuerza necesaria para llegar a perforar un geosintético por medio de un émbolo o pistón de cabeza plana. Se puede aplicar a la mayoría de los geosintéticos, pero no a los materiales con aberturas superiores a 10 mm.

- **Resistencia a la Perforación por maltrato**

La determinación del maltrato debe estimar el comportamiento del geosintético cuando está sometido a una presión distribuida sobre parte de su superficie, suponiendo total libertad de deformación. El ensayo permite obtener datos cualitativos para la evaluación del comportamiento de los geosintéticos, que podrían penetrar en los vacíos de un dren o balasto ferroviario, por ejemplo, empujados por un suelo fino saturado, o para protección de otro geosintético.

-Flexibilidad

En algunas obras geotécnicas como por ejemplo en la ejecución de taludes, suelos

reforzados, drenes profundos, entre otros es importante conocer la flexibilidad de un geosintético. Este parámetro permite también evaluar la capacidad de acomodación, entre el geosintético y el suelo. Una buena capacidad de acomodación aumenta la fricción del geotextil con material envolvente y mejora su desempeño como elemento filtrante o separador.

- Isotropía

Los geosintéticos presentan isotropía cuando poseen las mismas propiedades mecánicas en todas las direcciones. POL

2.8.- Propiedades Hidráulicas

Las propiedades hidráulicas tienen una importancia fundamental, cuando el geosintético va a realizar una función de filtro o de drenaje.

En general todos los métodos de ensayo se basan en la ley de Darcy (régimen laminar) y se refieren tanto a la permeabilidad normal al plano (permitividad) como a permeabilidad en el plano (transmisibilidad).

Para la adecuada utilización de geosintéticos en las funciones de separador, filtro o dren, es necesario conocer sus propiedades hidráulicas, definidas por la:

- Permeabilidad normal a la manta – permitividad
- Permeabilidad en el plano de la manta – transmisibilidad
- Porometría - abertura de filtración.

La compresibilidad de los geosintéticos hace que su permeabilidad sea función de la tensión normal a que ellas están sometidas. Los resultados de ensayo deben, por lo tanto, indicar la presión actuante sobre el geosintético durante su realización. Se puede adoptar como "permeabilidad nominal" el valor obtenido sobre tensión de 2kPa o sea, para la condición de espesor nominal.

- Permeabilidad Normal al plano del Geosintético – Permitividad

Cuando el geosintético trabaja como un elemento de filtro es necesario conocer su permeabilidad en la dirección normal al plano de la manta.

La permeabilidad normal al plano de un geosintético se mide en un permeámetro con determinadas características, agua desmineralizada y sin aire.

Mediante este ensayo se mide la permitividad, que es la razón entre la permeabilidad normal (coeficiente de Darcy K_0) y el espesor del geosintético.

Para su determinación se mide el caudal de agua que puede circular perpendicularmente al plano del geosintético.

- Permeabilidad Horizontal en el plano del Geosintético – Transmisibilidad

La permeabilidad en el plano de un geosintético está medida, igualmente, mediante un permeámetro con agua desmineralizada y sin aire. Se realiza en las mismas condiciones que el caso de la permeabilidad normal, obteniéndose la transmisibilidad (θ).

La transmisibilidad es el producto de la permeabilidad en el plano por el espesor del geosintético, y sin aire. Representa el caudal de agua que circula sobre el plano del geosintético.

La transmisibilidad resulta apreciable en los geosintéticos de gran espesor.

La permeabilidad transversal de un geosintético indica la capacidad que la manta posee de conducir agua en su propio plano. Es una característica de los geosintéticos no tejidos agujeteados y una propiedad importante a analizar siempre que hubiera interés en la consideración de drenaje a través del geosintético.

- Abertura de Filtración - Porimetría (Diámetro eficaz de los poros)

Es de fundamental importancia en el estado de capacidad de retención de los geosintéticos cuando son utilizados como filtros, separadores o drenes. Esta propiedad es la que causa mayor polémica internacionalmente, no llegándose hasta el momento a una metodología definida de ensayo consensuada.

Todos los métodos para la determinación de esta propiedad lo hacen mediante un tamizado, usando el geosintético a ensayar como base del tamiz.

La abertura de los poros, igual que la dimensión de las mallas de un geosintético, fijan el diámetro de las partículas del suelo que pueden ser retenidas por él, y que son de hecho determinadas para su eficacia como filtro.

La porimetría del geosintético es la medida de las dimensiones de sus poros. La abertura de filtración puede ser considerada como la mayor abertura (poro) del geosintético, correspondiendo ésta al tamaño de la mayor partícula que atraviesa el mismo en las condiciones específicas del ensayo.

En el ensayo se calcula el diámetro medio como el tamaño de las partículas, para el cual un determinado % de la fracción es retenida en el geosintético.

2.9.- PROPIEDADES DE DURABILIDAD

Es la propiedad con la cual el material mantiene sus características con el paso del tiempo.

Los geosintéticos están sujetos a muchas formas de degradación como: las mecánicas (abrasión, fatiga, fluencia, desgarró), ataques químicos (ácidos, bases, disolventes orgánicos), ataques hidráulicos (colmatación y humedad). El ataque biológico puede ser visto como un ataque químico, ya que los microorganismos pueden atacar al geosintético en la misma forma que un proceso químico. Similarmente, el ataque fotoquímico y por radiación, a pesar de iniciarse por la luz, al final se produce la

degradación de la estructura del polímero del geosintético.

Se han publicado muchas tablas con la resistencia, de los polímeros puros, a diversos ataques. Así, el poliéster presenta una gran resistencia al ataque por a luz ultra violeta, mientras que las poliolefinas sin estabilizar tienen poca resistencia a esta. De la misma forma que la resistencia a la corrosión del acero puede ir aumentando por la adición de níquel y cromo para conseguir acero inoxidable, la resistencia a la luz ultravioleta, de las poliolefinas puede ser mejorada por la adición de humo y otros estabilizadores.

En la ingeniería, además de conocer el comportamiento o las propiedades de un material, necesarios para el dimensionamiento de la obra, es preciso verificar la mantención de estas propiedades durante su proceso de utilización.

Los ensayos que estudian el comportamiento en función del tiempo vienen siendo llamados de ensayos de durabilidad y se dividen en dos grupos básicos:

-Estudio de variación en el tiempo de las características del geosintético sobre el efecto de las condiciones de carga o flujo, impuestas o previstas en el proyecto, tales son los ensayos de fluencia, relajación, resistencia a la abrasión, fatiga, colmatación, pérdida de partículas.

-Estudio de variación en el tiempo de las características del geosintético a consecuencia de los ataques del medio ambiente tales como: el efecto de la temperatura, estabilidad ante los rayos ultra violetas, resistencia a los ataques químicos y biológicos.

Fuente: Simposio Sobre Geosintético Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, (2013).

CAPÍTULO III

PROGRAMA INFORMÁTICO GEOSOFT 3.0

3.1.- PRINCIPIOS DEL PROGRAMA.-

El desarrollo de la tecnología de los Geosintéticos y su utilización en los campos de la ingeniería, ha introducido un nuevo concepto en las metodologías de diseño y construcción en sus diversas aplicaciones. Son muchas la teorías de investigación que han surgido con esta nueva tecnología, basadas en las necesidades y los requerimientos de los ingenieros diseñadores y constructores, llevando a que los Geosintéticos se utilicen cada vez más para la realización de las obras civiles.

Uno de los mayores campos de aplicación de los Geosintéticos son en las vías, donde se deben considerar varios aspectos que involucran su utilización: separación, refuerzo de capas granulares, estabilización de subrasantes, filtración y drenaje. Los estudios que se han realizado en este campo y las experiencias existentes han demostrado los grandes beneficios que aportan los Geosintéticos en la construcción de vías y su rehabilitación, mejorando el nivel de servicio y aumentando la vida útil de las mismas.

3.1.2.- Antecedentes.-

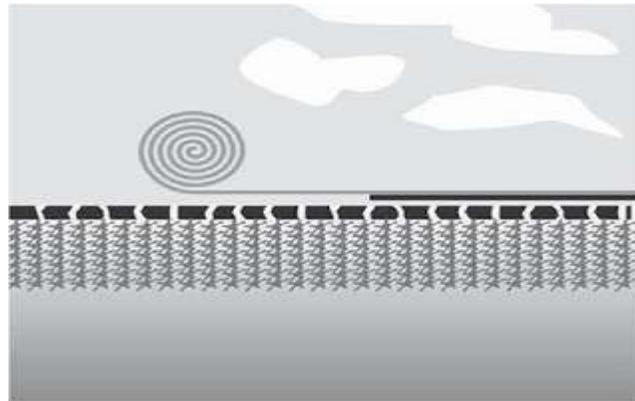
Con frecuencia encontramos suelos poco competentes para soportar cargas debido al tráfico, por lo cual el refuerzo con geosintéticos permite mejorar el desempeño de un pavimento, disminuyendo los esfuerzos aplicados sobre la subrasante. Como resultado, se tiene una sección reforzada que permite una mayor aplicación de cargas y menores deformaciones que una sección sin refuerzo.

Geosintéticos como las geomallas biaxiales coextruidas, tejidos y neoweb han sido empleados como herramientas de refuerzo para incrementar la resistencia de las vías.

3.1.3.- Instalación del Geosintético.-

La instalación del rollo del geosintético (geomalla de fibra de vidrio, geotextil de repavimentación) puede ser realizado manual o mecánicamente, existiendo equipos patentados para la colocación de los rollos. En nuestro medio la instalación se ha venido haciendo manualmente, siendo necesaria una cuadrilla de tres personas (dos manteniendo la alineación del rollo y desenrollándolo, y otra persona cepillando sobre el geosintético, eliminando al máximo las arrugas), sin necesidad de ser mano de obra capacitada ni especializada. Para esta aplicación, si se utiliza geotextil, se debe instalar siempre la parte sin termofundir en contacto directo con el ligante, sin arrugas.

Figura 3-1 Instalación del Geosintético



Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

Para facilitar un mayor contacto (adherencia) del geosintético (geomalla de fibra de vidrio, geotextil de repavimentación) con el ligante y con la capa antigua y eliminar en mayor proporción las arrugas del mismo, se podrán utilizar equipos mecánicos como es el caso de un compactador de llantas en una pasada directamente sobre el geosintético transitado a bajas velocidades. No es necesario realizar la sujeción del geosintético a la capa vieja mediante clavos o puntillas. Pueden usarse puntillas al inicio del rollo de la geomalla de fibra de vidrio.

Cuando se está en zona de curva, para instalar el geosintético (geomalla de fibra de vidrio, geotextil de repavimentación), éste se debe cortar en pequeñas secciones en forma rectangular, como si se estuviera armando la curva por segmentos.

Se recomienda emplear guantes para manipular la geomalla ya que la fibra de vidrio al estar en contacto directo a la piel puede generar picazón.

Se deben tener cuidados especiales con las condiciones climatológicas, pues nunca se podría instalar el geosintético (geomalla de fibra de vidrio, geotextil de repavimentación) cuando la capa de pavimentación antiguo esté en condiciones húmedas, en el caso de querer hacer grandes avances en la instalación del geosintético es necesario prever que no lloverá en la zona. Esta es la única condición que pudiera llegar a afectar el avance de la obra.

Si durante la instalación inicia la lluvia cuando se utiliza geotextil y éste se encontraba extendido se moja completamente, entonces se debe secar totalmente antes de ser utilizado para esta aplicación.

A manera de solución parcial para casos donde el geosintético (geomalla de fibra de vidrio, geotextil de repavimentación) se haya mojado con una llovizna superficial se podrá soplar con aire a presión para eliminar toda la humedad presente en el mismo. Si se llegase a realizar el proceso de instalación de la nueva carpeta sobre el geosintético en condiciones húmedas, no se logrará una buena adherencia de todo el sistema, generado posibles fallas posteriores en el funcionamiento del mismo. Como recomendación de trabajo en obra, sólo se debe instalar la cantidad de geosintético que se está seguro quedará completamente cubierto al finalizar el día.

3.2.- PARÁMETROS DE ENTRADA.-

a) Estabilización de Subrasantes con Geosintéticos.-

Los parámetros de entrada son los siguientes:

- Carga por eje (kn).
- Presión de inflado (kpa).
- Numero de repeticiones.
- Ahuellamiento Máximo Permitido (mm).
- CBR material granular (%).
- CBR de la subrasante (%).

b) Separación de Capas Granulares y Subrasante.-

Para este módulo tenemos como parámetros de entrada los siguientes datos:

- Factor de seguridad global.
- Factor de seguridad parcial.
- Presión de inflado.
- Diámetro de partículas de agregado (plg).
- Tipo de suelo.

c) Refuerzo de Pavimentos Flexibles Empleando la Geomalla Biaxial Coextruida.-

Este módulo nos presenta los siguientes parámetros de entrada:

- Espesor de la carpeta asfáltica (cm).
- Coeficiente estructural a1.
- Tipo de geomalla de refuerzo.
- Número de capas granulares.
- Demanda tránsito W18
- CBR de la subrasante (%)

3.3.- Contenido del Programa GEOSOFT 3.0.-

- Separación de subrasantes en vías.
- Estabilización de subrasantes con geosintéticos
- Refuerzo en vías con geomallas biaxiales coextruidas

- Refuerzo de estructuras de pavimento con neoweb
- Pavimentación y repavimentación con geosintéticos
- Sistemas de subdrenaje para vías con geotextil y material granular
- Sistemas de subdrenaje con geodren
- Muros de contención reforzados con geosintéticos
- Refuerzo de taludes
- Refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos
- Refuerzo de cimentaciones corridas con geosintéticos
- Protección de geomembranas
- Control de erosión en taludes, canales y márgenes de ríos con geosintéticos

3.3.1.- Separación de Subrasantes.-

Son varias las funciones de los geotextiles y varían según el campo de aplicación que son utilizados. En el caso de las estructuras de vías, los geotextiles cumplen dos funciones esenciales: separación y refuerzo. En este documento se presenta la metodología de diseño para emplear un geotextil como separación del suelo de subrasante y la(s) capa(s) granular(es).

Para que un geotextil cumpla correctamente la función de separación entre un suelo subrasante y una capa de material granular, el CBR de la subrasante debe estar entre 3% y 10%.

En efecto, dentro de este rango se asume que la deformación del suelo de subrasante no es lo suficientemente importante para generar grandes esfuerzos de tensión en el geotextil, el cual se diseña como separación y no como refuerzo. Cuando el CBR es menor del 3% el geotextil asume grandes deformaciones y comienza a absorber esfuerzos a tensión que lo inducen a trabajar como refuerzo, factor que afecta totalmente el diseño por separación. En los casos en que el CBR de la subrasante sea menor del 3% se debe hacer un diseño por refuerzo y verificar los criterios del diseño por separación cuando el geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características.

Para tener un concepto claro del funcionamiento del geotextil como separación en la interfaz subrasante – capas granulares, a continuación se hace una descripción del proceso que se desarrolla entre dos materiales de diferentes características y comportamiento, y de como el geotextil se convierte en una barrera que permite mantener la integridad y el buen funcionamiento de los materiales, mejorando la resistencia y estabilidad de la estructura de la vía.

En el caso de las estructuras de pavimento, donde se coloca suelo granular (relleno, subbase, base) sobre suelos finos (subrasante) se presenta dos procesos en forma simultánea:

- 1) Migración de suelos finos dentro del suelo granular, disminuyendo su capacidad de drenaje.
- 2) Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).

El geotextil se traduce en una barrera para migración de partículas entre dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo, evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por la tensión, punzonamiento o estallido, bajo concentraciones de esfuerzos locales causados por irregularidades en el suelo de fundación.

Fig.3-2 Estructura de Pavimento sin Geotextil de Separación

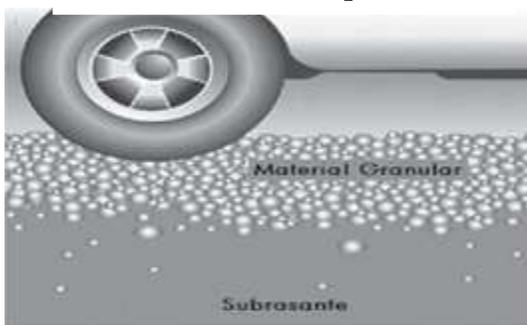
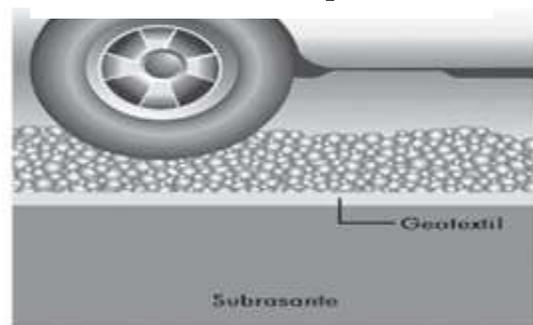


Fig.3-3 Estructura de Pavimento con Geotextil de Separación



Fuente: Manual de Geosoft 3.0

3.3.1.1.- Metodología de Diseño:

Este diseño permite escoger el tipo de geotextil adecuado para colocar en la interfaz subrasante – capa granular, que tiene como función principal la separación de suelos adyacentes con propiedades y características diferentes y la estabilización de la subrasante durante el periodo de vida útil de la estructura de una vía.

En el caso del diseño por separación, se comparan las resistencias del geotextil con el valor FS_g .

$$FS_g = \frac{\text{Resistencia Admisible:}}{\text{Resistencia Requerida:}} \approx FS_g > 1 \quad (3.1)$$

Dónde:

Resistencia Admisible: resistencia última del ensayo de laboratorio que simula las condiciones reales del proyecto sobre los factores de reducción.

Resistencia Requerida: valor obtenido de una metodología de diseño que simula las condiciones reales del proyecto.

Para los casos en que se determine el factor de seguridad global como parámetro de diseño, se calcula entonces la resistencia requerida (diseño) en función de las especificaciones del geotextil que se vaya a utilizar.

$$\text{Resistencia Requerida} = \frac{\text{Resistencia}}{FS_g} \quad (3.2)$$

Las especificaciones de los geotextiles se evalúan bajo condiciones ideales de laboratorio, lo que en algunos casos representa altos valores numéricos para el diseño. Los valores obtenidos en el laboratorio se deben modificar para aplicarlos bajo las condiciones in situ de cada proyecto. Para tener en cuenta estos factores, se asume un factor de seguridad parcial FS_p que permite ajustar el valor último de laboratorio a las condiciones particulares del terreno, obteniendo un valor admisible que se aplicara en el diseño.

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FR_p} \quad (3.3)$$

$$FS_p = FR_{ID} * FR_{DQS} \quad (3.4)$$

Donde:

T_{adm} = Resistencia admisible para emplear en el diseño

T_{ult} = Resistencia última obtenida en laboratorio

FR_p = Factor de reducción parcial

FR_{ID} = Factor de reducción por daños de instalación

FR_{DQS} = Factor de reducción por degradación química y biológica.

Los rangos para los factores de reducción se mencionan en la Tabla 3.1.

Tabla 3-1 Factores de Reducción para Geotextil en Aplicación de Separación y Refuerzo

Área	Daños por instalación	Fluencia	Degradación Química/Biológica
	FR_{ID}	FR_{FL}	FR_{DQS}
Separación	1.1 a 2.5	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5
Caminos no pavimentados	1.1 a 2.0	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5
Muros de contención	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5
Terraplenes sobre suelos blandos	1.1 a 2.0	2.0 a 3.5	1.0 a 1.5
Fundaciones	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5
Estabilización de taludes	1.1 a 1.5	2.0 a 3.0	1.0 a 1.5
Ferrocarriles	1.5 a 3.0	1.0 a 1.5	1.5 a 2.0

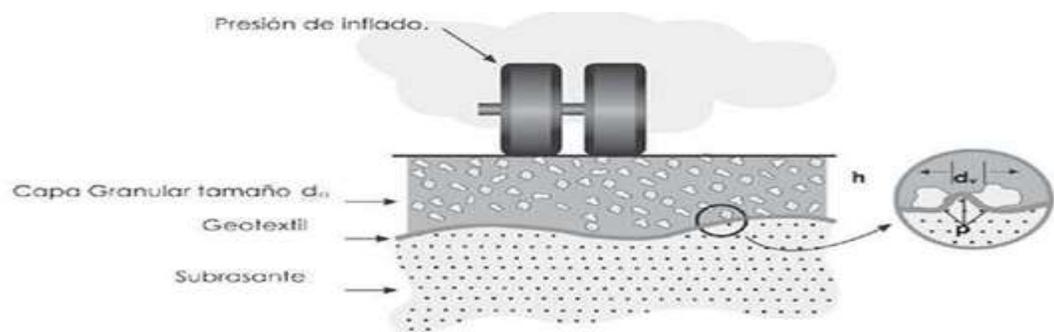
Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

- Resistencia al Estallido (Mullen Burst)

Entre las partículas del suelo granular que se colocan sobre el geotextil existen vacíos que permiten que el geotextil se introduzca entre ellas por la acción

simultanea de las cargas de tráfico que son transmitidas hasta las capas granulares, al geotextil y el suelo subrasante. Una vez sometido a esfuerzos, el suelo trata de empujar el geotextil por los vacíos de la capa granular. El geotextil que se coloca en la interfaz subrasante - capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por estallido. El ensayo de resistencia al estallido (método Mulen Burst-Norma ASTM D3786-INV E- 904) representa esta situación.

Fig. 3-4 Geotextil de Separación – Resistencia al Estallido



Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

$$T_{req} = \frac{p' d_v [f(\epsilon)]}{2} \quad (3.5)$$

$$T_{ult} = \frac{P_{test} * d_{test} [f(\epsilon)]}{2} \quad (3.6)$$

Dónde:

T_{req} = Resistencia requerida del geotextil (kpa)

p' = Esfuerzo en la superficie del geotextil: $p' < p$ (kpa)

P = Presión de inflado (kpa)

D_v = Diámetro máximo de los vacíos $0.33 d_a$ (mm)

D_a = Diámetro máximo de las partículas de agregados (mm)

$f(\varepsilon)$ = Función de deformación (elongación) del geotextil

T_{ult} = Resistencia ultima del geotextil (kpa)

P_{test} = Presión del ensayo Mullen Burst (kpa)

d_{test} = Diámetro del diafragma – ensayo brst (30.48 mm)

Método 1: Verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado $\Rightarrow T_{ult}$ conocido:
calcular FS_g

$$FS_g = \frac{T_{adm}}{T_{req}} \quad (3.7)$$

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_p} \quad (3.8)$$

Reemplazando la ecuación (3.7) y sustituyendo los valores de T_{req} y T_{ult} , se obtiene:

$$FS_g = \frac{P_{test} * d_{test}}{FS_p * p' * d_v} \quad (3.9)$$

Para $FS_p = 2.0$ = ecuación del factor de seguridad Global

$$d_{test} = 30.48 \text{ mm}$$

$$d_v = 0.33 d_a$$

$$FS_g = \frac{61.6 * P_{test}}{p' * d_a} \approx FS_g > 1$$

Para $FS_p = 2$ = ecuación del factor de Seguridad Global

$$d_{test} = 30.48 \text{ mm}$$

$$d_v = 0.33 d_a$$

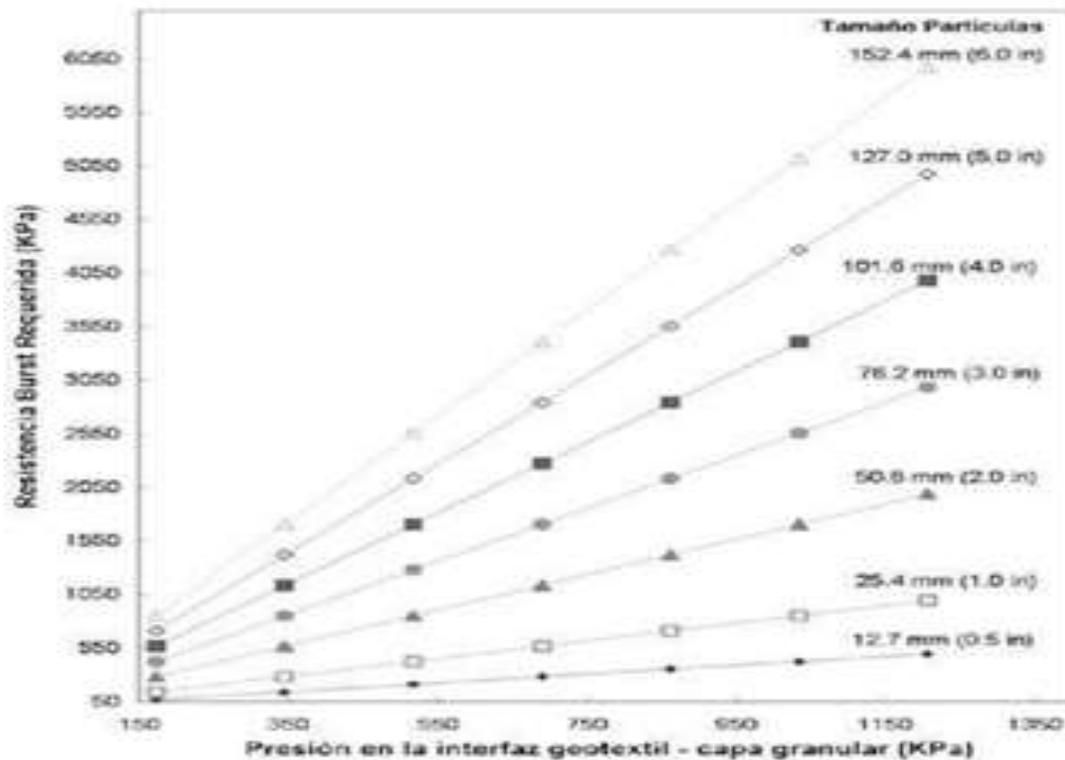
$$FS_g = \frac{46.2 * P_{test}}{p' * d_a} \approx FS_g > 1$$

Método 2: determinar la resistencia Bursts requerida del geotextil para un factor de seguridad global FS_g establecida.

FS_g : conocido determinar T_{req}

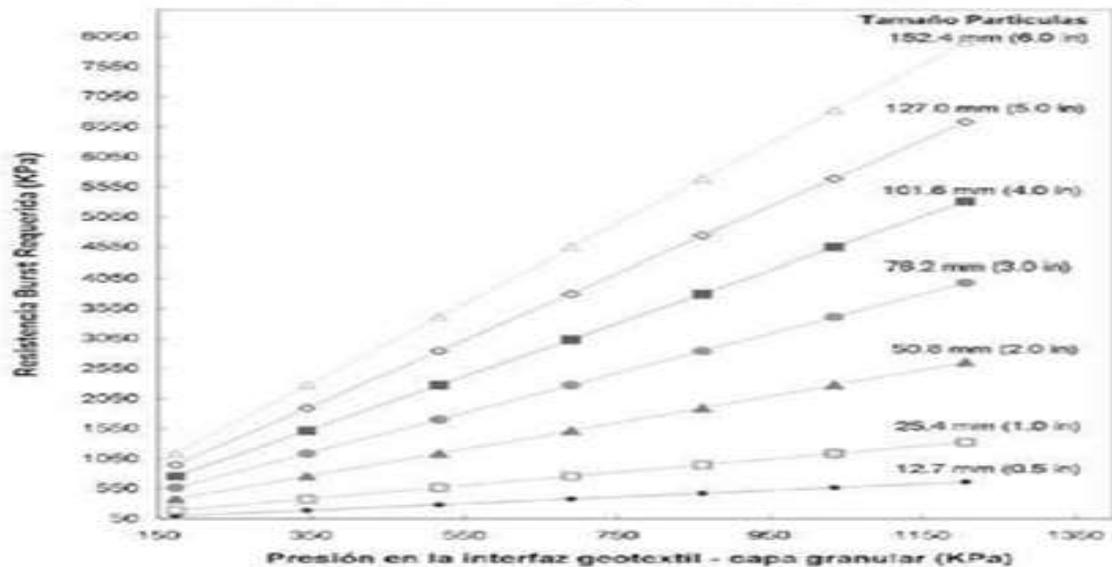
A continuación se presentan las gráficas que permiten determinar T_{req} de diseño del geotextil, asumiendo un factor de seguridad global $FS_g = 2.0$ y factores de seguridad parcial $FS_p = 1.5$ y $FS_p = 2.0$ para las condiciones definidas en el método 1.

Fig. 3-5 Resistencia al Estallido (BURST) según el Tamaño del Agregado (FSg=2.0; FSp=1.5)



Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

Fig. 3-6 Resistencia al Estallido (BURST) Según el Tamaño del Agregado (FSg=2.0; FSp=2.0)



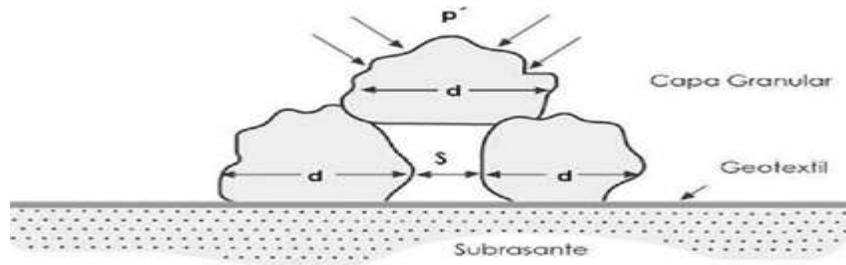
Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

- **Resistencia a la tensión (GRAB):**

Otro factor que actúa sobre el geotextil es el esfuerzo de tracción que se genera en el geotextil en su plano de deformación. Esto ocurre cuando el geotextil está “atrapado” por una capa granular y un suelo de subrasante.

Cuando una partícula superior es forzada contra dos partículas inferiores que están en contacto con el geotextil se genera un esfuerzo de tracción en su plano (ver figura). El ensayo de tensión según el método Grab (ASTM D4632-INV E-901) simula este proceso en el laboratorio, determinando la carga de rotura (resistencia Grab) del geotextil y su elongación correspondiente (deformación – elongación Grab). El geotextil se coloca en la interfaz subrasante – capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falla por tensión.

Fig. 3-7 Geotextil de Separación –Resistencia a la Tensión (GRAB)



Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

$$T_{req} = p' * 10^{-3} (dv)^2 * [f(\varepsilon)] \quad (3.10)$$

T_{req} = Resistencia Grab requerida (N)

p' = Presión aplicada (Kpa)

dv = Diámetro máximo de los vacíos: $dv=0.33 da$ (mm)

da = Diámetro máximo de las partículas de agregado (mm)

$f(\varepsilon)$ = Función de deformación (elongación) del geotextil, (ver tabla 4.1)

Tabla 3-2 Valores de $f(\varepsilon)$

ε (%)	$f(\varepsilon)$	ε (%)	$f(\varepsilon)$
0	∞	25	0.55
2	1.47	30	0.53
4	1.23	35	0.52
6	1.08	40	0.51
8	0.97	45 - 70	0.5
10	0.9	75	0.51
12	0.8	90	0.52
14	0.73	100	0.53
16	0.69	110	0.54
18	0.64	120	0.55
20	0.58	130	0.56

Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

Método: verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado $=T_{ult}$ conocido; calcular FS_g

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_g} \quad (3.11)$$

$$FS_g = \frac{T_{adm}}{T_{req}}$$

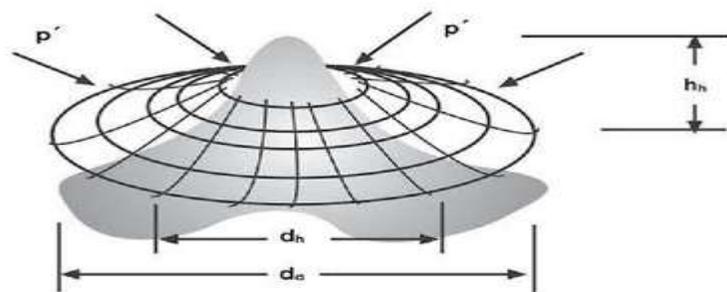
Reemplazando las ecuaciones (4.8) y (4.9) en la ecuación (4.10)

$$FS_g = \frac{T_{ult}}{FS_p * p' * 10^{-3} * (0.33 da)^2 * [f(\varepsilon)]} = FS_g > 1$$

- Resistencia al Punzonamiento:

Además de cumplir la función de separación, el geotextil de separación debe resistir el proceso de instalación, sin que sus propiedades iniciales sufran modificaciones importantes así se garantiza el buen funcionamiento del geotextil durante la vida útil de la vía. Materiales punzonantes, piedras angulares, ramas de árboles, desechos de construcción y otro tipo de objetivos que se encuentren sobre el suelo (subyacente) que quede en contacto con el geotextil, pueden romperlo y desgastarlo cuando se coloque la capa granular y se apliquen las cargas de tráfico sobre la estructura. Se debe calcular la fuerza vertical que actuara sobre el geotextil bajo estas condiciones, y verificar que el geotextil que se coloque resista el punzonamiento que se genere. El ensayo de resistencia al punzonamiento ASTM D4833, INV E-902 simula esta condición en laboratorio y permite calcular la máxima resistencia que tienen un geotextil bajo la acción del punzonamiento.

Fig. 3-8 Punzonamiento Causado por una Partícula sobre el Geotextil



Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

$$T_{req} = \frac{p' * da^2 * S_1 * S_2 * S_3}{39.36} * F_f \quad (3.12)$$

Donde:

T_{req} = Fuerza vertical que el geotextil debe resistir (N)

p' = Presión de inflado (kpa)

da = Diámetro máximo de las partículas de agregado o de partículas angulares (mm)

$S_1 = h_h/da$ factor de escala para ajustar el diámetro del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D4833, INV E- 902 (5/16 in) al diámetro de la actual partícula punzonante.

$S_2 = 0.31/da$ Factor escala para ajustar el diámetro del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D4833, INV E-902(5/6 in) al diámetro de la actual partícula punzonante.

$S_3 = 1 - A_p/A_c$ de forma para ajustar la forma del vástago de punzonamiento del ensayo ASTM D4833, INV - 902 a la forma de la actual partícula punzonante.

Fr = Factor de forma de las partículas del material a utilizar (tabla 4.3)

A_p = Área proyectada de la partícula.

A_c = Área del menor circulo circunscrito.

Tabla 3-3 Valores de A_p/A_c

Descripción	A_p/A_c
Arena Ottawa	0.8
Grava	0.7
Roca triturada	0.4
Roca extraída por medio de dinamita	0.3

Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

Tabla 3-4 Factor de forma de las Partículas

Tipo de partícula	F_r
Angular	1.5
Semiredondeada	1.3
Redondeada	1.1

Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

Método 1: verificar si el geotextil que se va a utilizar es el adecuado = T_{req} conocido; calcular FS_g

$$FS_g = \frac{T_{adm}}{T_{req}}$$

$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_g}$$

Entonces la ecuación del factor de seguridad global en unidades del mismo sistema internacional es:

$$FS_g = \frac{T_{ult} * 39.36}{FS_p * p' * da^2 * S_1 * S_2 * S_3} \approx FS_g > 1 \quad (3.13)$$

Dónde:

$$T_{ult} = (\text{N})$$

$$p' = (\text{kpa})$$

$$da = (\text{mm})$$

Método 2: determinar la resistencia al punzonamiento requerida del geotextil para un factor de seguridad global FS_g establecido = FS_p conocido; determinar T_{req} diseño teniendo en cuenta la fórmula de partícula según Tabla 4.3.

Si se asume que se coloca una capa de material granular con partículas angulares sobre el geotexti, de tal forma que:

$$S_1 = 0.33$$

$$S_2 = 0.3/da$$

$$S_3 = 0.5$$

Entonces, la resistencia al punzonamiento requerida para esas condiciones es:

$$T_{req} = \frac{0.0512 * p' * da}{39.36} * F_f \quad \sim \quad T_{req} = 1.3 * 10^{-3} * p' * da * F_f \quad (3.14)$$

Para determinar la resistencia al punzonamiento requerida para el diseño bajo las condiciones establecidas se tiene:

$$FS_g = \frac{T_{ult}}{FS_p * T_{req}} \quad \approx \quad T_{ult} = FS_g * FS_p * (1.3 * p' * da) * F_f \quad (3.15)$$

A continuación se usaran las gráficas de las figuras (3-5 y 3-6) que permiten determinar T_{req} de diseño del geotextil, asumiendo un factor de seguridad global $FS_g = 2.0$ y factores de seguridad parcial $FS_p = 1.5$ y $FS_g = 2.0$, para las condiciones definidas.

- **Criterio de retención (TAA)¹**

El criterio de retención por tamaño de abertura aparente (TAA) permite determinar el tamaño de las aberturas del geotextil para evitar la migración de suelo fino hacia las capas granulares.

$$TAA < D_{85} * B \quad (3.16)$$

Dónde:

TAA = tamaño de abertura aparente dato suministrado por el fabricante. Corresponde a la abertura de los espacios libres (en milímetros). Se obtiene tamizando unas esferas de vidrio de diámetros conocidos, cuando el 5% de un

tamaño determinado de esferas pasa a través del geotextil, se define el TAA. Ensayo ASTM D4751, INV E – 907.

D_{85} = tamaño de partículas (en milímetros) que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en consideración

B = Coeficiente que varía entre 1 y 3. Depende del tipo de suelo a filtrar, de las condiciones de flujo y del tipo del geotextil.

- Para arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (con menos del 50 % pasa el tamiz con menos del 50 % pasa el tamiz # 200); B es función del coeficiente de uniformidad C_w donde $C_u = D_{60}/D_{10}$

$$2 < C_u \leq 8 \quad B = 1$$

$$2 < C_u \leq 4 \quad B = 0.5 * C_u$$

$$4 < C_u \leq 8 \quad B = 8/C_u$$

- Para suelos finos (más del 505 pasa el tamiz #200) B es función del tipo geotextil.

$$\text{Para tejidos: } B = 1 \quad TAA \leq D_{85}$$

$$\text{Para No tejidos: } B = 1.8 \quad TAA \leq 1.8 * D_{85}$$

- Para aplicación de separación, la AASHTO M288-05 recomienda que los geotextiles deben cumplir:

$$TAA \leq 0.60 \text{ mm}$$

- **Criterio de Permeabilidad.-**

El coeficiente de permeabilidad k , se define como la propiedad hidráulica que tiene un geotextil, para permitir un adecuado paso de flujo de separación los geotextiles deben cumplir lo siguiente:

$$\mathbf{K \text{ del geotextil} > k \text{ del suelo} \quad (3.17)}$$

Dónde:

$$K = \Psi * t$$

Ψ = Permitividad del geotextil

T = Espesor nominal del geotextil.

En los casos en que se presenta un nivel freático muy alto o condiciones críticas de humedad de la subrasante, se debe utilizar un geotextil con alta transmisividad que permite el drenaje a través de su plano, (geotextiles no tejidos punzonados por agujas). En estos casos se recomienda incorporar un sistema de subdrenaje lateral para abatir el nivel freático.

- **Criterio de supervivencia.-**

El geotextil en el proceso de instalación y a lo largo de su vida útil puede estar sometido a unos esfuerzos, los cuales deben ser soportados por el mismo, de tal manera que no afecten drásticamente sus propiedades hidráulicas o físicas. En la tabla 4.3 se representa las propiedades mínimas que se deben cumplir.

Los geotextiles son materiales de polipropileno, altamente resistentes al ataque químico y biológico. Los geotextiles se degradan con los rayos UV, por consiguiente no deben ser expuestos por largo tiempo a estos rayos.

**Tabla 3-5 Propiedades del Geotextil de Separación AASHTO M288-05 –
Artículo 231 INVIAS**

Propiedad	Elongación medida	Resistencia a la tensión (Grab)	Resistencia a la penetración con pistón 50mm de diámetro	Resistencia al rasgado trapezoidal
Norma de ensayo	INV E - 901	INV E - 901	INV E - 913	INV E - 903
Valor mínimo	≥ 50% ⁽¹⁾	700 N	1375 N	250 N
Promedio por rollo	< 50% ⁽²⁾	1100 N	2200 N	400 N

Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

- **Refuerzo en vías con Geomallas Biaxiales Coextruídas.-**

Una de las variables que influyen directamente en la vida útil de los pavimentos, es el tráfico vehicular, si éste no es estimado adecuadamente, se someterá el pavimento a mayores repeticiones de ciclos de carga. Estas sobrecargas, actúan sobre la capa de rodadura, generando fisuración del material bituminoso. Esta fisuración promueve la intrusión de agua a la estructura del pavimento, lo cual se traduce en una menor capacidad de soporte de los materiales granulares, produciendo una pérdida progresiva de las propiedades mecánicas de éstos y por ende un deterioro de la estructura.

Las Geomallas Coextruídas Biaxiales son empleadas como una solución para el mejoramiento de suelos de soporte y capas granulares. Estas geomallas proporcionan un confinamiento lateral en el suelo aumentando la resistencia a la tensión de estos.

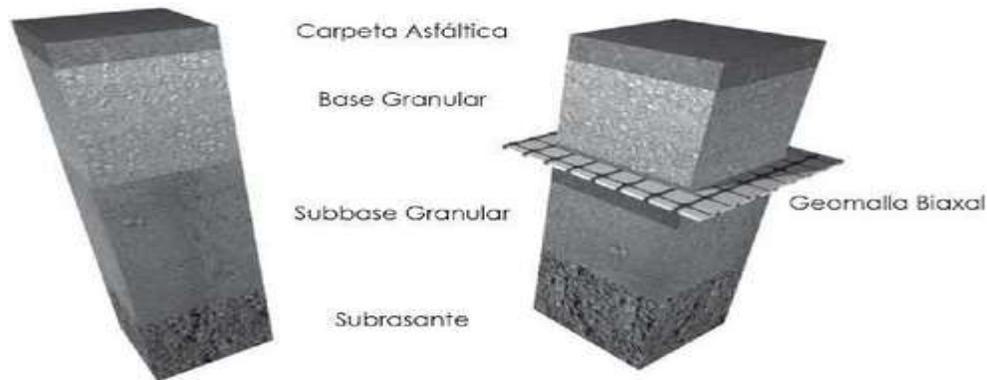
Introducción.- existen diferentes metodologías de diseño para pavimentos flexibles incluyendo métodos empíricos, métodos limitando la fuerza de corte, métodos limitando la deflexión, métodos regresivos y métodos mecánicos – empíricos.

El método AASTHO es un método de regresión basado en resultados empíricos obtenidos por la ASSTHO Road Test en los años 50.

La metodología AASTHO versión 1993 para pavimentos flexibles es la metodología empleada con punto de partida para el desarrollo de la inclusión de geomallas

coextruídas como refuerzo de los materiales granulares. Esta metodología ha sido modificada para explicar la contribución estructural de las geomallas biaxiales coextruídas.

Fig. 3-9 Sección Típica de Estructuras de Pavimento Asfáltico con y sin Refuerzo



Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

La modificación del método de la ASSTHO empleando geomallas biaxiales coextruídas para refuerzo de pavimentos flexibles, se realizó con base en ensayos de laboratorio y verificaciones en campo a escala real.

Los datos recolectados fueron analizados y con base a ellos se desarrolló una metodología aplicable a geomallas de alto módulo de tensión y caracterización por su capacidad de trabazón con los agregados y alta resistencia en sus nodos.

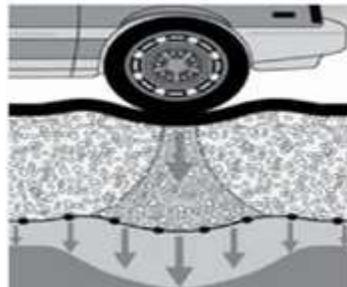
Mecanismos de Refuerzo Generados por las Geomallas.- a través de múltiples investigaciones (Giroud y Noray, 1981; Giroud et al, 2000), se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los siguientes:

- Confinamiento lateral de la base o subbase: el confinamiento lateral de los materiales granulares (base y subbase) se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado. Ésto se presenta debido a que los módulos de

los materiales granulares dependen del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el módulo de la capa granular sobre la geomalla.

- Mejoramiento de la capacidad portante: 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.

Fig. 3-10 Mejoramiento de la Capacidad Portante al Emplear una Geomalla de Refuerzo



Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

- 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 sólo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones a carga elevada.

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 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 actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta, situación que se generara constantemente en la zona donde se encuentra un diferencial de tipos de estructura. Una deformación lateral más pequeña de la base se traduce en menor deformación vertical de la superficie de la vía.
- Aumento del confinamiento y de la resistencia de la base o subbase en la vecindad: 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. Ésto 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.

3.3.1.2. Método AASHTO para Pavimentos Flexibles

El método AASHTO para pavimentos flexibles, se basa en la capacidad estructural de un conjunto de capas de espesores y calidades determinadas, expresado en el Numero Estructural, SN, el cual es un valor abstracto que expresa la resistencia que requiere un pavimento construido sobre una subrasante con un módulo M.

La ecuación utilizada para el diseño, derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO Road Test en 1972, con algunas modificaciones luego de investigaciones adicionales, es la siguiente:

$$\log_{10}W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{+ 2.32 \log_{10} M_R - 8.07} + \frac{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}{}$$

Dónde:

SN = Número Estructural requerido

W_{18} = Número de aplicaciones de carga de 80 KN (8.2 Ton)

Z_R = Desviación estándar normal (6.1)

S_o = Error estándar combinado de la predicción de transite y de la predicción de comportamiento

ΔPSI = Diferencia entre el índice de servicio inicial (pi) y el final (pf)

M_R = Modulo Resiliente (psi)

El número estructural requerido se convierte en los espesores reales de concreto asfáltico, base y subbase multiplicado cada uno, por los coeficientes de capa respectivos representando el esfuerzo relativo de los materiales de construcción y la capacidad de drenaje. La ecuación de diseño usada es la siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_2 m_3$$

Dónde:

a_i = Coeficiente correspondiente a la capa i (1/Pulg)

D_1 = Espesor correspondiente a la capa i (Pulg)

m_2 = Coeficiente de drenaje de la capa i

Los subíndices 1, 2 Y 3 se refieren a la capa de concreto asfáltico, base y subbase (si esta aplica), respectivamente. Los coeficientes de capa son basados en el módulo de elasticidad del suelo MR y son determinados con base en cálculos de esfuerzos y deformaciones en un sistema de pavimento multicapa.

Fig. 3-11 Sección de la estructura con sus respectivos Coeficientes de capa.



Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

Coeficiente de la capa ai

La contribución estructural de un material de relleno para la resistencia de un pavimento, está representado por el adecuado coeficiente de capa, el cual mide el esfuerzo relativo del material en construcción.

De acuerdo con la ecuación (6.2) el diseñador necesita seleccionar valores significativos para los coeficientes de las capas a), al y a] de asfalto, base y subbase en la sección de pavimento a diseñarse.

En la Tabla 3-6 se dan los valores típicos de la contribución estructural de los materiales De lleno. Las regulaciones locales o prácticas estándar pueden sugerir factores superiores para los materiales a utilizarse.

Tabla 3-6 Rango de valores Recomendados (1/pulg) para Coeficientes a_1 , a_2 , a_3 para Diferentes Materiales

	Material		CBR	Rango a_i [1/pulg]	
a_1	Capa de asfalto		> 100	0.40 - 0.44	
	Base asfáltica		> 100	0.30 - 0.40	
a_2		Piedra picada de dureza alta	80 - 100	0.10 - 0.14	0.14
	Base granular	Piedra picada de dureza media	60 - 80		0.13
	Bien gradado	Grava de río	40 - 70		0.12
		Mezcla de arena y grava	20 - 50		0.11
a_3	Subbase granular	Arena limpia	10 - 30	0.06 - 0.10	

Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

Coeficiente de drenaje m_i .-

El método AASHTO asume que la resistencia de la subrasante y la base se mantendrán en forma constante sobre el diseño de la vida útil del pavimento. Para que esta suposición sea correcta, la estructura del pavimento debe tener un sistema de drenaje adecuado. El nivel de drenaje para un pavimento flexible es cuantificado por medio del uso de los coeficientes modificados de cada capa que conforma la estructura del pavimento. Por ejemplo, un alto coeficiente de drenaje en una capa, se usaría para mejorar las condiciones de drenaje. El factor para modificar el coeficiente de drenaje es referido como m_i y es integrado al número estructural (SN) como se muestra en la ecuación (6.2). El posible efecto de drenaje en la superficie de la capa del concreto asfáltico no es considerado.

Tabla 3-7 Condiciones de Drenaje

Calidad de drenaje	Evacuación del agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Justo	1 semana
Deficiente	1 mes
Muy deficiente	No se presentará descarga

Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

La Tabla 3-7 presenta los valores recomendados para m_i en función de la calidad de drenaje y del porcentaje del tiempo en el año en el cual la estructura de pavimento estaría expuesta a un nivel de humedad.

Tabla 3-8 Valores de Coeficiente de Drenaje m_i Recomendados

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo en que la estructura de pavimento esta expuesta a niveles de humedad acercándose a saturación			
	Menos de 1%	Entre 1 - 5%	Entre 5 - 25%	Mayor de 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.0
Justo	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Deficiente	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy deficiente	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: Manual de Geosoft 3.0 (2013)

3.4.-DESCRIPCION DEL PROCESAMIENTO DEL PROGRAMA.-

a) Separación de Capas Granulares y Subrasantes

Paso 1.-

- Al entrar a uno de los módulos del programa tenemos:

Fig. 3-12 Parámetros de Entrada

SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

Geosoft® PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

Factor de seguridad global: 2,0

Factor de seguridad parcial: 1,5

Presión de inflado p': 0,0 kPa

Diámetro máximo partículas de agregados (en pulgadas): 0,5

CRITERIOS MECÁNICOS

Resistencia al Estallido (Mullen Burst) requerida [kPa]: 0,0

Resistencia al Punzonamiento [N]: 0,0

Resistencia a la Tensión (Grab)

Se verifica a través del cumplimiento de:

$$FS_g = \frac{T_{uti}}{FS_p \times p' \times 10^{-3} (0.33d_a)^2 \times [f(\epsilon)]} \quad FS > 1$$

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE

Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos del 50%, pasa tamiz #200)

Suelos arenosos mal gradados

Suelos finos (mas del 50%, pasa tamiz #200)

Fuente: Propia

- Donde tenemos parámetros de diseño (factor de seguridad global, presión de inflado, factor de seguridad parcial y diámetro máximo de las partículas de agregado), se escoge el tipo de suelo de subrasante. Cada parámetro de entrada ya fueron mencionados y explicados en anteriores capítulos.
- Al introducir todos los datos requeridos el programa analiza los criterios mecánicos (resistencia al estallido y resistencia al punzonamiento) y nos calcula los valores.
- Teniendo todos los datos introducidos y calculados las resistencias pasamos a la siguiente página.

Paso N° 2:

Fig. 3-13 Proceso de Cálculo

SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

Geosoft®
PAVCO

CRITERIO DE RETENCIÓN
 Por Curva Granulométrica
 Usar criterio recomendado:
 Parámetros de la Curva Granulométrica TAA < 0,8 mm
 Definir criterio propio:
 TAA < 0,8

CRITERIO DE PERMEABILIDAD
 Permeabilidad del suelo de subrasante k (cm/s)

CRITERIO DE SUPERVIVENCIA
 Desea revisar Criterios de Supervivencia (AASHTO M288-05 / Artículo 231-07 Normas INVIAS)?
 SI
 NO

GEOTEXILES PROPUESTOS

	Geotextil Tejido T1050	Geotextil No Tejido NT1600
Criterios Mecánicos	Cumple!	Cumple!
Factor de Seguridad Global (GRAB)	Cumple!	Cumple!
Criterio de Retención	Cumple!	Cumple!
Criterio de Permeabilidad	Cumple!	Cumple!

CHEQUEAR

Fuente: Propia

En este paso, tenemos criterios de retención, criterio de permeabilidad, criterio de supervivencia y geotextiles propuestos.

- Para los criterios de retención se debe elegir si para la granulometría del material se realizó la curva granulométrica o usamos el criterio recomendado en el manual o se definió un criterio propio.
- Para el criterio de permeabilidad se anota el valor de la permeabilidad del material que conformará el suelo de subrasante.
- En el Criterio de supervivencia se debe escoger si deseamos o no revisar criterios de supervivencia según las normas de la AASHTO M288-5 / artículo 231-07 normas INVIAS.

- En geotextiles propuestos, el programa analiza según todos los parámetros introducidos que tipo de geotextil tejido o geotextil no tejido que cumple con todos los criterios requeridos para el refuerzo del material granular.

Paso N°3:

Fig. 3-14 Resultados

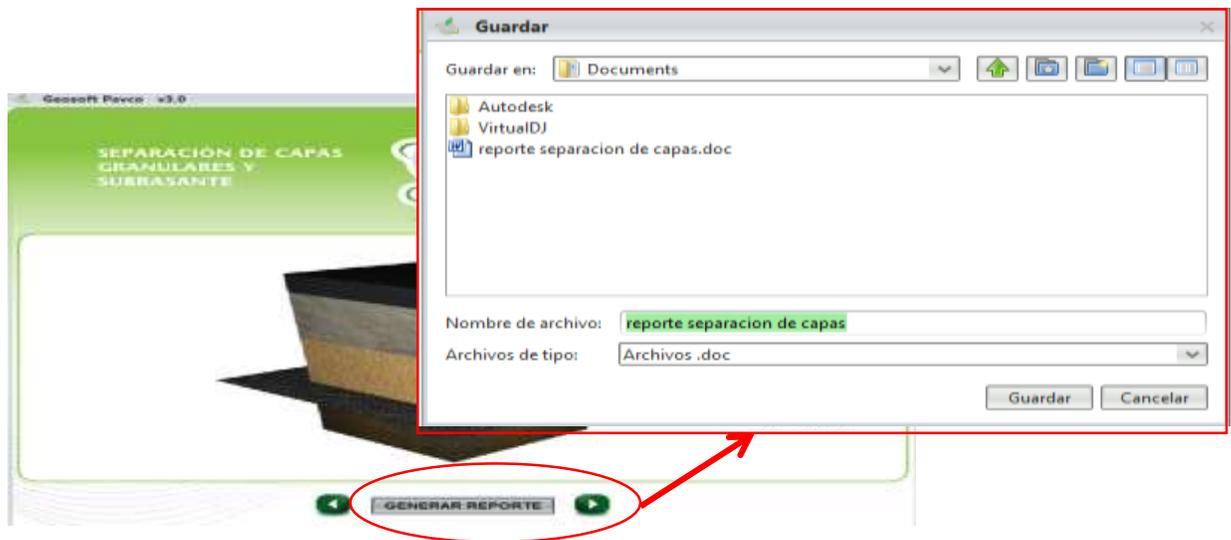


Fuente: Propia

Nos muestra cómo queda el diseño de las capas granulares, el geotextil propuesto y la subrasante que tendremos como resultado de los datos introducidos.

Paso N°4:

Seleccionamos la opción generar reporte y nos aparece la siguiente ventana mostrada en la figura:



- Escribimos el nombre del archivo que deseamos guardar; y seleccionamos la opción guardar.
- Automáticamente se guarda todo un documento de los datos y resultados que se obtuvieron del análisis realizado.

Paso N°5:

- Abrimos el archivo guardado del reporte que hicimos del análisis, donde tal reporte nos muestra los datos del proyecto, datos de entrada (dentro de los cuales están los parámetros para chequeos mecánicos requeridos, propiedades hidráulicas requeridas). Parámetros calculados y resultados, geotextiles recomendados, además que realiza automáticamente una nota y una advertencia según los datos y resultados obtenidos en el programa.

Fig. 3-15 Reporte del Módulo Analizado

REPORTE DE SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE	
DATOS DEL PROYECTO	
Nombre del Proyecto:	jula parte I
Nombre de la Empresa:	Universidad Juan Milla de Saracho
Nombre del Diseñador:	jula ayllón león
Cargo del Diseñador:	investigador
País: ARGENTINA Departamento: tarja Ciudad: tarja Otra Ubicación: bolivia	
Descripción del Proyecto:	
DATOS DE ENTRADA	
PARAMETROS PARA CHEQUEOS MECANICOS REQUERIDOS	
Factor de Seguridad Global:	2.0
Factor de Seguridad Parcial:	1.5
Presión de Inflado:	0.5 Pa
Diámetro de Partículas de Agregado:	0.5 pulgadas
Tipo de suelo:	Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos de 50% pasa tamiz #200)
PROPIEDADES HIDRÁULICAS REQUERIDAS	
Permeabilidad Suelo Fundación:	0.0 cm/s
TAA :	0.0

PARAMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS	
Resistencia al Puncionamiento Requerida:	0.0 N
Resistencia al Estallido Requerida:	0.0 N
¿Se revisó criterio de supervivencia? :	NO
Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil Tejido:	∞
Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil no Tejido:	∞
GEOTEXTILES RECOMENDADOS	
Geotextil Tejido:	TT1500
Geotextil No Tejido:	NT1500
Nota: • La elección final del tipo de geotextil (tejido-no tejido), dependerá de las condiciones de humedad propias del proyecto, posición y fluctuación del nivel freático. • Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMRP) o (MARV) por su nombre en inglés.	
ADVERTENCIA	
Esta herramienta de cálculo es un complemento al Manual de Diseño. El usuario debe conocer las ecuaciones, su aplicabilidad y limitaciones. Esta herramienta de cálculo no debe ser usada en reemplazo de un ingeniero diseñador. La información contenida aquí no puede ser garantizada ya que las condiciones del usuario están más allá de nuestro control. El usuario de esta herramienta asume todos los riesgos asociados con su uso. A pesar de que todos los esfuerzos han sido hechos para verificar su funcionamiento y resultados, GEOSISTEMAS-PAVOD no se hace responsable por cualquier error en los cálculos obtenidos con este herramienta. Datos asumidos o valores entrados erróneos pueden dar soluciones incorrectas.	

Fuente: Propia

b) Estabilización de Subrasantes con Geosintéticos

Paso N°1:

- Primero nos aparecerá una pantalla donde sólo tenemos que anotar nuestros datos y datos del proyecto que se va a analizar.
- Luego nos aparece la siguiente ventana donde tenemos que introducir los parámetros de entrada como ser Tráfico, donde tenemos que anotar la carga por eje (kn o Ton). Presión de inflado (kpa o psi), número de repeticiones y Ahuellamiento máximo permitido (mm o in).
- Geosintéticos de refuerzo; donde se escoge entre las opciones que están ahí que tipo de geomalla o geotextil se va a usar para la estabilización.

- Propiedades suelo fundación y relleno; anotamos el valor del CBR del material granular y el CBR del material de subrasante, además que si tiene módulo de subrasante lo anotamos, caso contrario colocamos que no lo tiene.

Fig. 3-16 Parámetros de Entrada

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 550 kPa

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 20,0

CBR Subrasante (%): 1,0

Incluir Módulo Subrasante: Sí No

Módulo Subrasante: 0 MPa

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-8x11

Geomalla Pavco P-8x12

Geotextil Tejido

CARGA POR EJE = 2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

Fuente: Propia

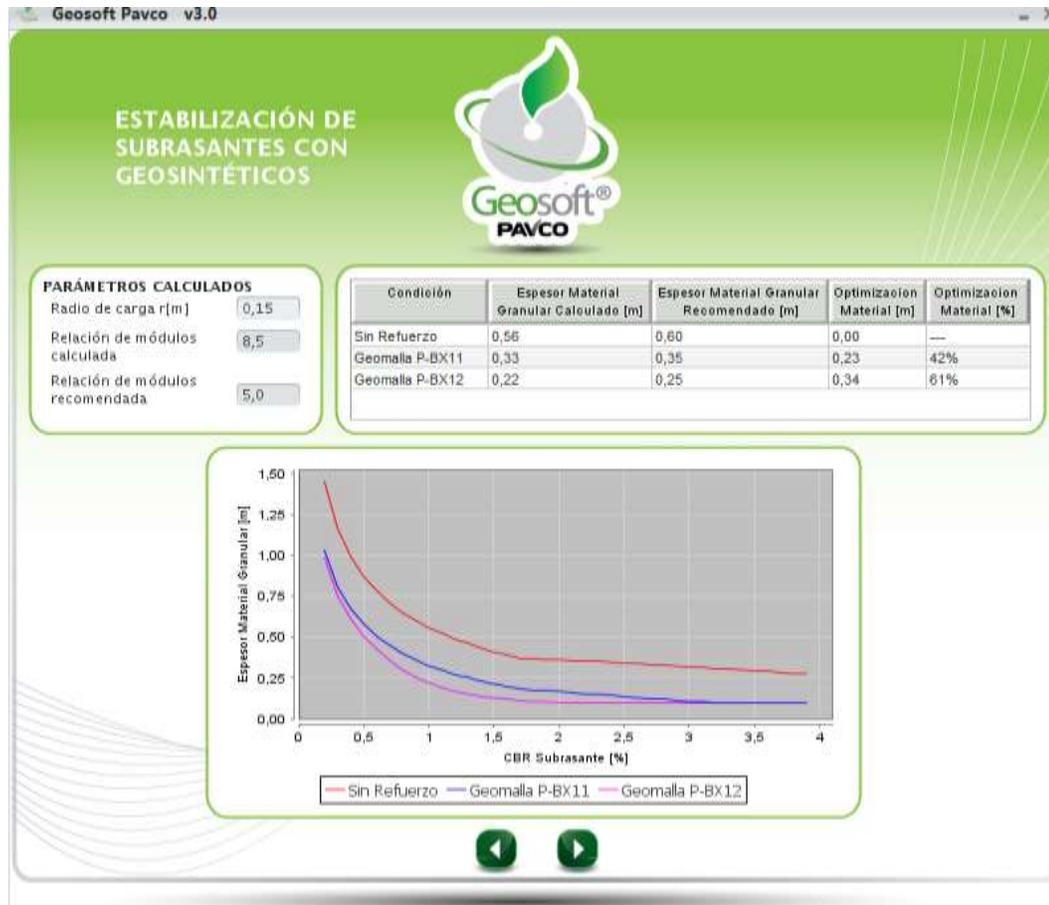
Paso N°2:

- En esta pantalla ya nos muestra los parámetros calculados por el programa como ser: radio de carga, relación de módulos calculada y relación de módulos recomendada.
- Nos presenta una pequeña tabla de los materiales Geosintéticos usados, nos muestra la diferencia de espesores de la capa de pavimento sin refuerzo y el espesor con la geomalla o geotextil escogido como refuerzo, donde está el

espesor de material granular calculado, espesor de material granular recomendado, optimización material (m) y en %.

- También nos muestra la relación de la curva espesor del material granular (m) versus CBR de la subrasante (%)

Fig. 3-17 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N°3:

En este paso, también nos muestra los resultados obtenidos como ser:

- Tipo de refuerzo.
- Espesor del material granular.

- Optimización de granulares.
- Además que nos presenta unos cuadros de cómo se verá la capa de pavimento con el refuerzo elegido en anteriores pasos.
- En caso que se quiera diseñar el refuerzo con geomalla, se debe incluir adicionalmente un geotextil de separación como material de refuerzo, si se desea, (criterio propio).
- Se presenta las gráficas de comparación entre la estructura sin refuerzo y las estructuras reforzadas.

Fig. 3-18 Resultados



Fuente: Propia

Paso N°4:

Si elegimos la opción diseñar geotextil de separación entonces nos sale la siguiente ventana mostrada en la figura anterior, donde nos pide datos como ser:

- Parámetros de diseño; presión de inflado p^i (kpa o psi), factor de seguridad parcial y diámetro máximo de las partículas de agregados en pulgadas.
- Criterios mecánicos; resistencia al estallido (Mullen Burst) (kpa), resistencia al punzonamiento (N).
- Tipo de suelo de subrasante.

The screenshot shows the 'DISEÑAR GEOTEXTIL SEPARACIÓN' window in Geosoft PAVCO v3.0. The window is titled 'SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE' and features the Geosoft PAVCO logo. It contains the following sections:

- TIPO DE REFUERZO:** A dropdown menu set to 'Sin Refuerzo'.
- ESPESOR MATERIAL GRANULAR:** A text input field with the value '8,60'.
- OPTIMIZACIÓN DE GRANULARES:** A dropdown menu set to '---'.
- Geotextil de separación:** A section with a red circle around the 'DISEÑAR GEOTEXTIL SEPARACIÓN' button. Below it, a note reads: 'Geotextil de separación: En el caso de (geotextil como elemento de separación)'. There are also two small images of geotextil materials.
- PARAMETROS DE DISEÑO:**
 - Factor de seguridad global: 2,0
 - Factor de seguridad parcial: 1,5
 - Presión de inflado p^i : 0,0 kPa
 - Diámetro máximo partículas de agregados (en pulgadas): 0,5
- CRITERIOS MECÁNICOS:**
 - Resistencia al Estallido (Mullen Burst) requerida [kPa]: 0,0
 - Resistencia al Punzonamiento [N]: 0,0
 - Resistencia a la Tensión (Grab): $F_s = \frac{T_{tst}}{F_s \times p^i \times 10^{-2} (0,334 \mu^2) \times (1,60)}$ $F_s > 1$
 - Se verifica a través del cumplimiento de:
- TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE:**
 - Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos del 50% pasa tamiz #200)
 - Suelos arenosos mal graduados
 - Suelos finos (más del 50% pasa tamiz #200)

Paso N°5:

Fig. 3-19 Proceso de Cálculo

SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

Geosoft PAVCO

CRITERIO DE RETENCIÓN
 Por Curva Granulométrica
 Parámetros de la Curva Granulométrica:
 D₁₀ (mm) 0,0
 D₆₀ (mm) 0,0
 D₈₅ (mm) 0,0
 Usar criterio recomendado
 TAA < 0,6 mm
 Definir criterio propio
 TAA < 0,6

CRITERIO DE PERMEABILIDAD
 Permeabilidad del suelo de subrasante k(cm/s) 0

CRITERIO DE SUPERVIVENCIA
 Desea revisar Criterios de Supervivencia (AASHTO M288-05 / Artículo 231-07 Normas INVIAS)?
 SI
 NO

GEOTEXTILES PROPUESTOS

	Geotextil Tejido T1050	Geotextil No Tejido NT1600
Criterios Mecánicos	Cumple!	Cumple!
Factor de Seguridad Global(GRAB)	Cumple!	Cumple!
Criterio de Retención	Cumple!	Cumple!
Criterio de Permeabilidad	Cumple!	Cumple!

CHEQUEAR

Fuente: Propia

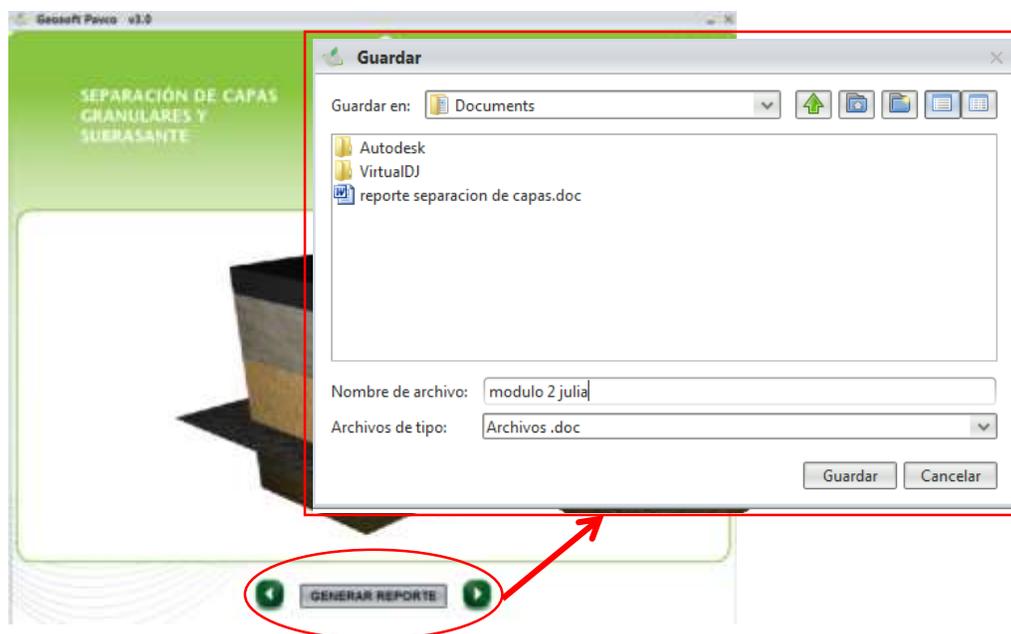
- Esta ventana es la misma que vimos en el anterior módulo de separación de capas granulares y se realiza los mismos pasos para completar los datos.
- Al igual que el anterior módulo, también nos muestra como quedará el pavimento y las capas granulares con el material Geosintéticos como parte del refuerzo.

Fig. 3-20 Gráfica de la Estructura Final

Fuente: Propia

Paso N°6:

Para este paso, también escogemos la opción de generar reporte y creamos un archivo con el nombre que deseamos y guardamos dicho archivo.



- Una vez que guardamos el archivo abrimos el documento donde está el reporte del análisis que realizamos. Pero en este caso podemos tener dos opciones de archivo uno con los datos del principio sin haber puesto un refuerzo en ese caso el reporte sería el siguiente:

Fig. 3-21 Reporte del Módulo Analizado

REPORTE DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

DATOS DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto:	estabilización de la subrasante con material geométrico
Nombre de la Empresa:	universidad juan maza saraco
Nombre del Cliente:	juan zoides rodr
Cargo del Cliente:	investigador

País: ARGENTINA Departamento: tarja Ciudad: tarja
Otra Ubicación:

Descripción del Proyecto:

DATOS DE ENTRADA

Carga P ₀ (kN)	80 kN
Presión de inflado:	850 kPa
Numero de Repeticiones:	1000
Actualamiento Máximo Permitido:	50 mm
CBR Material Granular (%)	80%
CBR Subrasante (%)	10%

PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS

Ratio de carga (q ₀)	0.132
Relación de módulos calculada:	8.54
Relación de módulos recomendada:	5

Tipo de Refuerzo:	Sin Refuerzo	Geomalla P-BX11	Geomalla P-BX12
Espesor Material Granular Calculado:	0.55	0.35	0.25
Espesor Material Granular Recomendado:	0.5	0.35	0.25
Optimización de Granulados:	8%	14%	25%

ADVERTENCIA

Esta herramienta de cálculo es un complemento al Manual de Diseño. El usuario debe conocer las ecuaciones, su aplicación y limitaciones. Esta herramienta de cálculo no debe ser usada en reemplazo de un ingeniero diseñador.

La información contenida aquí no puede ser garantizada y que las condiciones del usuario están más allá de nuestro control. El usuario de esta herramienta asume todos los riesgos asociados con su uso.

A pesar de que todos los esfuerzos han sido hechos para verificar su funcionamiento y resultados, GEO-SISTEMAS-PAVCO no se hace responsable por cualquier error en los cálculos obtenidos con esta herramienta. Datos asumidos o valores erróneos ingresados pueden dar soluciones incorrectas.

Fuente: Propia

- Donde nos da los datos del proyecto, datos de entrada, parámetros calculados y resultados, análisis de los materiales Geosintéticos usados (sin refuerzo y geomallas), además que también nos da una advertencia del programa.

Fig. 3-22 Reporte del Módulo Analizado

REPORTE DE SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE	
DATOS DEL PROYECTO	
Nombre del Proyecto:	Estabilización de la subrasante con material geométrico
Nombre de la Empresa:	UNIVERSIDAD JUSTO SÁBIDO
Nombre del Diseñador:	JULIA AYDELEON
Cargo del Diseñador:	Investigador
País:	ARGENTINA
Departamento:	tarja
Ciudad:	tarja
Otra Ubicación:	
Descripción del Proyecto:	
DATOS DE ENTRADA	
PARAMETROS PARA CHEQUEOS MECANICOS REQUERIDOS	
Factor de Seguridad Global:	2.0
Factor de Seguridad Parcial:	1.5
Presión de Inflado:	0 kPa
Diámetro de Partículas de Agregado:	0.5 pulgadas
Tipo de suelo:	Arenas, arenas gravosas, arenas finosas y arenas arcillosas (menos de 50% pasante #200)
PROPIEDADES HIDRAULICAS REQUERIDAS	
Permeabilidad Suelo-Fundación:	0.0 cm/s
FAA <	0.5

PARAMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS	
Resistencia al Punzonamiento Requerida:	0.0 N
Resistencia al Estallido Requerida:	0.0 N
¿Se revisó criterio de supervivencia?:	NO
Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil Tejido:	=
Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil No Tejido:	=
GEOTEXTILES RECOMENDADOS	
Geotextil Tejido:	1500
Geotextil No Tejido:	NT 1000
Notas:	
<ul style="list-style-type: none"> La selección final de tipo de geotextil (tejido/no tejido), dependerá de las condiciones de humedad propias del proyecto, posición y ubicación del nivel freático. Los valores de los geométricos corresponden a valores mínimos provisto por ratio (VMPT) ó (MTRV) por su nombre en inglés. 	
ADVERTENCIA	
<p>Esta herramienta de cálculo es un complemento al Manual de Diseño. El usuario debe conocer las ecuaciones, su aplicabilidad y limitaciones. Esta herramienta de cálculo no debe ser usada en reemplazo de un ingeniero diseñador.</p> <p>La información contenida aquí no puede ser garantizada ya que las condiciones del usuario están más allá de nuestro control. El usuario de esta herramienta asume todos los riesgos asociados con su uso.</p> <p>A pesar de que todos los esfuerzos han sido hechos para verificar su funcionamiento y resultados, GEOSISTEMAS-RAVCO no se hace responsable por cualquier error en los cálculos obtenidos con esta herramienta. Datos asumidos o valores entrados erróneos pueden dar soluciones incorrectas.</p>	

Fuente: Propia

- Este otro reporte nos muestra los mismos datos que nos dio en el anterior módulo de separación de capas granulares y subrasante.

c) Refuerzo en Vías Empleando la Geomalla Biaxial Coextruída.-

Paso N°1:

- Al igual que los anteriores módulos también nos aparece como primera parte la pantalla para poner nuestros datos del proyecto, nombre cargo ubicación, etc.
- Como segunda ventana nos aparecen los parámetros: Parámetros de diseño; donde tenemos capa del concreto asfáltico y anotamos el espesor D_1 en cm o plg y el coeficiente estructural a_1 (1/plg)
- Refuerzo; donde se escoge el tipo de geomalla que usaremos para el refuerzo del pavimento ya sea tipo A P-BX11 (20 kN/m) o tipo B P-BX12 (30kn/m).

- Material granular; donde se anota el número de capas granulares que tendrá el pavimento a diseñar y anotamos los datos de D_i y del a_i .
- CBR de la subrasante (%) previamente calculado y si se desea revisar el diseño según el diseño inicial de la AASHTO 93, y se pone calcular

Fig. 3-23 Parámetros de Entrada

Geosoft PAVCO V5.0

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAXIAL

Geosoft®
PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Espesor D_1

Coeficiente estructural a_1 [1/pg]

REFUERZO

Tipo de Geomalla de Refuerzo

MATERIAL GRANULAR

Número de Capas Granulares

CAPA	D_i	Unidades D_i	a_i	mi
	3,0	cm	0,8	0,0

Número Estructural SN

CBR Subrasante (%) Desea Revisar el diseño inicial (AASHTO 93)? SI NO

Fuente: Propia

- Una vez que ponemos todos esos datos hacemos clic en calcular y automáticamente nos da el resultado del número estructural SN.

Paso N°2:

- Tenemos que introducir los datos de confiabilidad R (%), desviación estándar (S_o), índice de servicio inicial (P_o), índice de servicio final (P_t), módulo de la subrasante MR (psi).

- En el tipo de análisis (si se calculara el número estructural SN o se calculara el número de ejes).
- Si escogemos calcular el número estructural tenemos lo siguiente: Calcular el número estructural; donde nos presenta el número de ejes equivalentes (W18), el número estructural calculado. Se escoge la opción de calcular una vez introducidos todos los datos y nos dará el valor del número estructural calculado y si cumple o no cumple.

Fig. 3-24 Proceso de Cálculo

**REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAxIAL**

**Geosoft®
PAVCO**

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993

Confiabilidad R [%] 90 Módulo de la subrasante MR [psi] 3000,0

Desviación Estándar So 0,45 Tipo de Análisis Calcular Número Estructural SN

Índice de servicio Inicial Po 4,0 Calcular Número De Ejes

Índice de servicio Final Pt 2,0

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 2.35 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{4.2-1.5}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 5.07$$

CALCULAR NÚMERO ESTRUCTURAL

Número de Ejes equivalentes (W18) 0

Número estructural Calculado -1 **Calcular**

Observación CUMPLE

Fuente: Propia

- En caso de escoger la segunda opción calcular en el número de ejes, entonces, nos cambia las opciones e introducimos el valor del número estructural (SN) y calcula el valor de ejes equivalentes, así como se muestra en la figura:

Geosoft Pavco v3.0

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAIXIAL

Geosoft®
PAVCO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993

Confiabilidad R (%) Módulo de la subrasante MR (psi)

Desviación Estándar So Tipo de Análisis Calcular Número Estructural SN

Indice de servicio Inicial Po Calcular Número De Ejes

Indice de servicio Final Pt

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - I_p} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

CALCULAR NÚMERO DE EJES

Número estructural SN

Número de Ejes equivalentes Calculado

Fuente: Propia

Paso N°3:

- En esta ventana ya nos muestra los resultados obtenidos, como ser:
 - o Número estructural según diseño SN.
 - o Espesor granular equivalente H_{GE} (cm)
 - o Layer Coeficiente ratio LRC
 - o Espesor granular reforzado H_{GR} (cm).
- También nos da la capa y el espesor en cm, además de mostrarnos en un tabla el tipo de capa el espesor y la reducción.
- Nos presenta también una gráfica de cómo se verá la capa de pavimento con los materiales granulares y el valor del CBR de la subrasante en %.

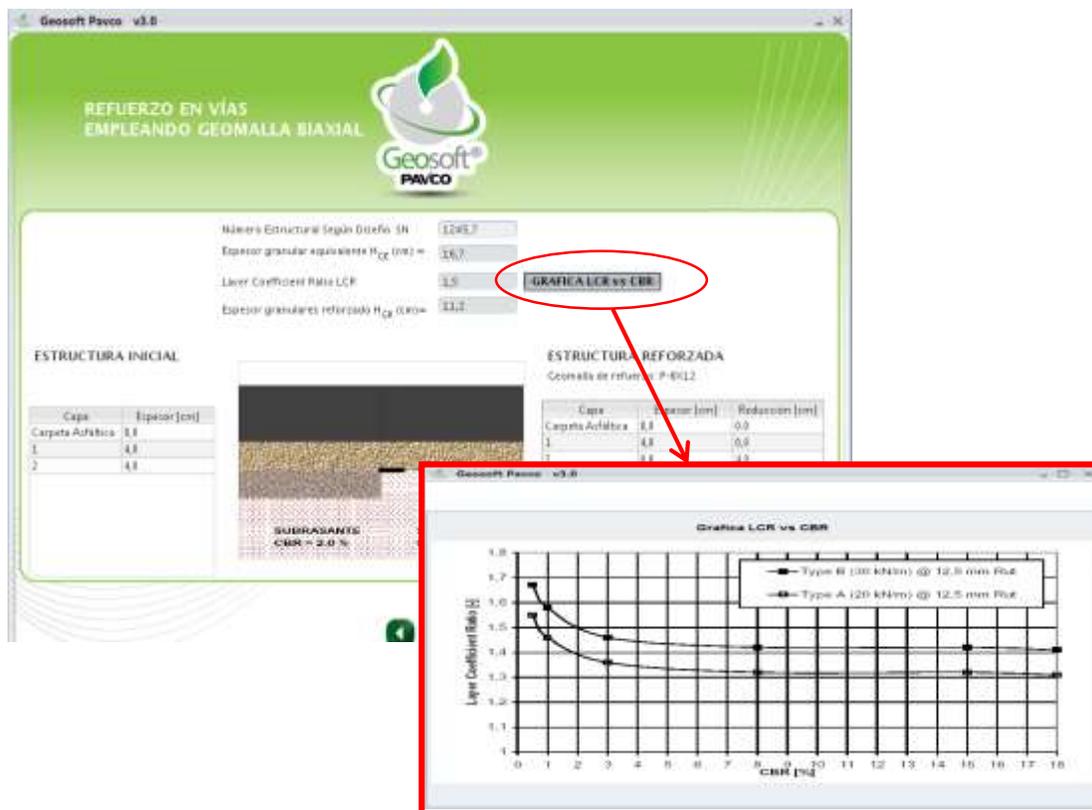
Fig. 3-25 Resultados



Fuente: Propia

Paso N°4:

- Para este paso, al escoger el botón de graficar LCR vs CBR, automáticamente nos presenta una ventana que nos muestra la gráfica y sus respectivos valores.
- A continuación le mostramos en la figura:



Paso N°5:

- Ahora tenemos la misma representación de las capas granulares que conformaran el pavimento, además que también nos da una nota recomendando como es la mejor opción para usar a la geomalla biaxial coextruída como refuerzo, así como se muestra en la figura:

Fig. 3-26 Gráfica de la Estructura Final con y sin Refuerzo.



Fuente: Propia

Paso N°6:

- Lo que se hace seguidamente es generar el reporte, el cual se hace de la misma manera que en los anteriores módulos.
- Nos presenta también como en anteriores módulos los datos del proyecto, parámetros de entrada, parámetros calculados y resultados y también nos presenta una pequeña nota y advertencia acerca de los resultados y de los alcances del programa, así como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 3-27 Reporte del Módulo Analizado

Nombre del Proyecto:		refuerzo en vias con geomallas biaxiales coextruidas	
Nombre de la Empresa:		universidad juan misael saracho	
Nombre del Diseñador:		leon julia aydea	
Cargo del Diseñador:		investigador	

País: ARGENTINA Departamento: tarja Ciudad: tarja
Otra Ubicación:

Descripción del Proyecto:

PARÁMETROS DE ENTRADA

Espesor Carpeta Asfáltica:	8.0 cm
Coefficiente Estructural a1:	0.0
Tipo de Geomalla de Refuerzo:	TIPO B P-BX12 (30kN/m)
Número de Capas Granulares:	2
Demanda Tránsito W18:	0.0
CBR Subrasante (%):	2.0

Capas Granulares

Capa	DI	Unidades DI	a1	mi
1	4.0	cm	7.0	35.0
2	4.0	cm	3.0	53.0

PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS

Número Estructural SN:	1,245,669
Espesor Granular Equivalente Hge:	16,741
Espesor Granular Reforzado Hre:	11,16
Layer Coefficient Ratio LCR:	1.5
Eficiencia en los Nodos Geomalla Biaxial Coextruida -> 90%:	OK

Tipo de Capa	Espesor Inicial (cm)	Espesor Nuevo (cm)	Reduccion Espesor (cm)
Carpeta Asfáltica	8.0	8.0	0.0
1	4.0	4.0	0.0
2	4.0	0.0	4.0

Notas:

- Esquemáticamente se muestra la geomalla de refuerzo a nivel de subrasante. se debe garantizar la trabazón de agregados, por lo cual se recomienda que la geomalla biaxial coextruida este entre los granulares.
- Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPP) o (MARV) por su nombre en Ingles.

Fuente: Propia

3.5.- OBTENCIÓN DE RESULTADOS.-

Para el caso del refuerzo de geomallas coextruidas tenemos que:

Las geomallas coextruidas funcionan como material de refuerzo, su aporte a la estructura genera una reducción en los espesores de material granular.

Se debe tener en cuenta todas las posibilidades de diseño que se puedan generar con la inclusión del refuerzo y escoger la mas recomendado o eficiente tanto económica como constructivamente posible, en el caso mostrado se redujeron los espesores de material granular. Para cualquiera de los casos de estudio.

Para el módulo de estabilización de subrasante con material geosintético los resultados que nos presenta el programa son de reducción del espesor granular, mostrando también la optimización del material granular según el tipo de geosintético elegido.

En la separación de capas granulares, los resultados que nos da el programa es que selecciona según los parámetros de entrada y los criterios mecánicos calculados la mejor opción de geotextil tejido o geotextil no tejido que cumpla con todos los criterios requeridos.

CAPITULO IV

DIMENSIONAMIENTO DE REFUERZOS CON APLICACIÓN DE GEOSOFT 3.0

4.1 UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO.-

La muestra estará constituida por materiales de 5 tramos de la red departamental que requieran refuerzo 3 de material de subrasante (Carlaso Piedra Larga, Copacabana Yunchara y Quebrada Las Vacas Salinas), 1 de material de subbase (Charaja) y 1 de material de base (Charaja), cuyos materiales serán reforzados con geosintético de dos tipos geomembrana y geogrilla cuyos refuerzos se dimensionarán utilizando el programa GEOSOFT 3.0.

- a) Tramo Quebrada las Vacas Salinas.

También se hará el análisis de material de subbase que será en Charaja.

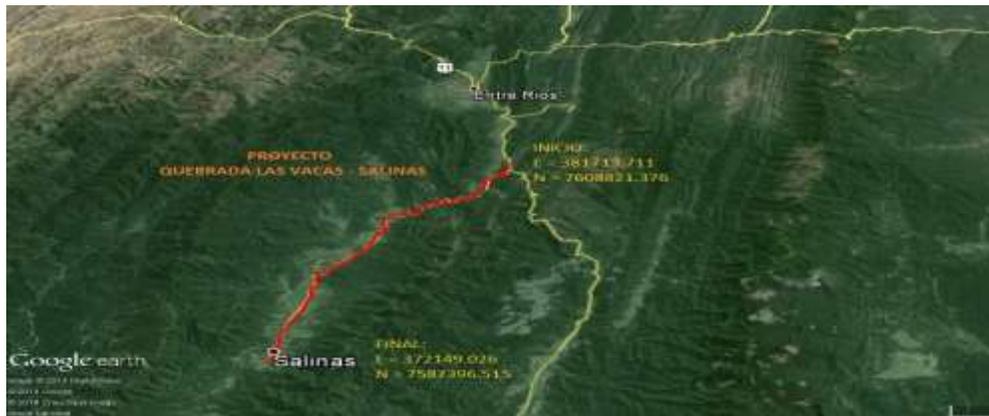
Uno de material de base Charaja cuyos materiales serán reforzados con Geosintéticos.

a) Tramo Quebrada - Las Vacas Salinas.-

El camino se inicia en la Quebrada Las Vacas en las coordenadas Este 372149,046; Norte 7587396,515, el camino comienza donde se encuentra en el puente de Quebrada Las Vacas, luego continua por las comunidades El Puesto, La Cueva hasta llegar a la comunidad de Salinas, con un recorrido de 29+278 Km., acabando en las coordenadas este 381713,711; norte 7608821,376.

Todo el tramo del estudio, discurre por un camino de tierra con superficie estabilizada con grava, relativamente transitable durante todas las épocas del año.

Fig. 4-1 Ubicación Tramo Quebrada - Las Vacas salinas



Fuente: Google earth

- Clima:

La zona se caracteriza por ser húmeda y calurosa en el período de verano, entre noviembre y marzo, mientras que los meses de junio y julio se presentan como los más fríos del año.

Según la clasificación climática de Thornthwaite, el clima de la región, por donde se desplaza el camino en estudio se clasifica como Mesotermal Semiárido (templado semihúmedo). La temperatura media anual es de 17,2 °C y una precipitación media anual es de 1.150 mm. La humedad relativa alcanza a un 75 %; los vientos son frecuentes, con intensidad moderada y dirección de sur a norte. Para los cultivos de secano y dadas las características de los suelos, la temperatura media entre noviembre y abril es muy favorable para el desarrollo agrícola.

- Suelos.-

En general son suelos profundos a muy profundos mayores a 2 m., afectados por erosión laminar ligera, bien a moderadamente bien drenados con algunas zonas imperfectamente drenadas. Los colores típicamente son rojizos a oscuros y las texturas varían de franco arcillo limosas a franco arcillosas sin fragmentos gruesos, mientras la

estructura es en bloques subangulares. Son suelos ligeros a fuertemente calcáreos, con pH de 6 a 8,8 y una disponibilidad baja a moderada de nutrientes.

b) Tramo Copacabana – Yunchará.-

El tramo a ser analizado inicia en el municipio de Yunchará, ubicado en las coordenadas $21^{\circ}46'09''$ latitud sur y $65^{\circ}09'37''$ de longitud oeste. El camino inicia más o menos desde la comunidad de Yunchará y continúa hasta llegar a la comunidad de Copacabana ubicado en las coordenadas $22^{\circ}04'01,78''$ latitud sur y $65^{\circ}36'02,80''$ latitud oeste.

Fig. 4-2 Ubicación Tramo Copacabana - Yunchará



Fuente: Google earth

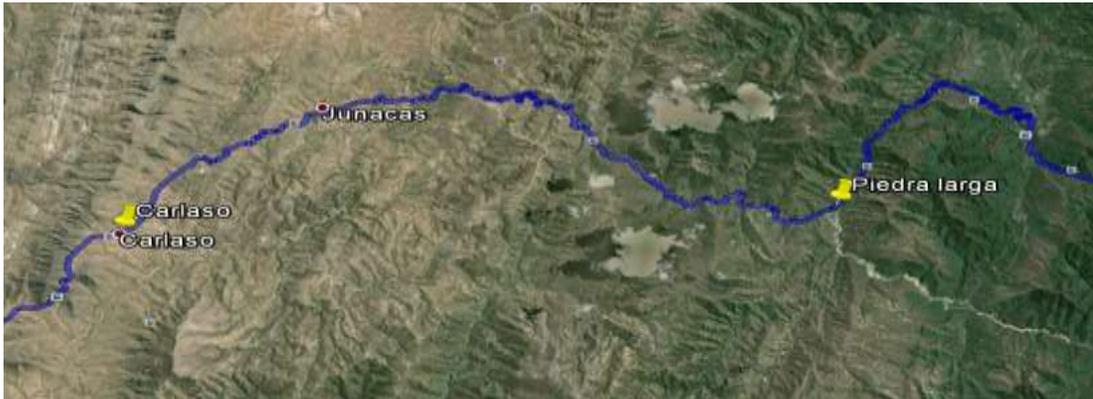
En la zona de Yunchará el clima de la Reserva es frío a templado, según la variación altitudinal y se caracteriza por su topografía de abruptas pendientes, mesetas y lagunas altoandinas. La hidrografía del área está definida por la cuenca de los ríos Tajzara, San Juan del Oro y Guadalquivir.

c) Tramo Carlaso Piedra Larga.-

El Tramo es de un total de 22.50 Km de longitud, comenzando desde el puente de canaletas– Entre Ríos donde es Piedra Larga con las coordenadas $21^{\circ}27'01,01''$ latitud sur y $64^{\circ}19'29,66''$ latitud oeste, terminando este tramo en la comunidad de Carlaso

con las coordenadas 21°28'33,62" latitud sur y 64°30'24,84" latitud oeste, como se muestra en la figura:

Fig. 4-3 Ubicación tramo Carlaso - Piedra Larga



Fuente: Google earth

- **Clima**

Los [climas](#) característicos son el [tropical](#) sin [estación seca](#) al norte y el [templado](#) pampeano al sur. Es recorrida por vientos provenientes del [océano Atlántico](#), además de vientos locales como el [Pampero](#), la [Sudestada](#) y el [Viento Norte](#). Cuenta con precipitaciones abundantes, con un promedio de 1.000 mm anuales. La temperatura promedio en verano es de 26 °C en el norte y de 19 °C a 23 °C en el sur, desde noviembre a marzo. En el invierno, la temperatura es de 7 °C a 10 °C en el sur de la provincia

4.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO.-

a) Tramo Quebrada - Las Vacas Salinas.-

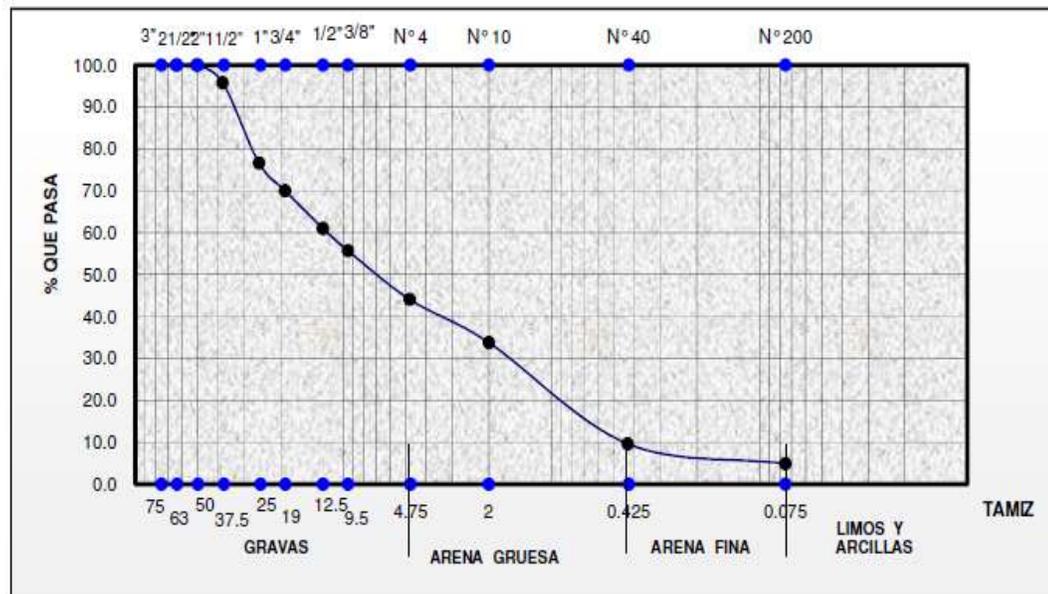
Ensayo de Granulometría: A continuación, demostramos cómo se realizó el ensayo de la granulometría:

Tabla 4-1 Ensayo Curva Granulométrica

Peso Total (gr.)		5000.00			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
2 1/2	63.5	0.00	0	0.0	100.0
2	50.8	0.00	0	0.0	100.0
1 1/2	38.10	209.32	209.32	4.2	95.8
1	25.40	961.36	1170.68	23.4	76.6
3/4	19.05	327.38	1498.06	30.0	70.0
1/2	12.50	454.18	1952.24	39.0	61.0
3/8	9.50	260.51	2212.75	44.3	55.7
Nº4	4.80	582.42	2795.17	55.9	44.1
Nº10	2.00	515.45	3310.62	66.2	33.8
Nº40	0.43	1207.17	4517.79	90.4	9.6
Nº200	0.075	236.95	4754.74	95.1	4.9
Base		245.26			

Fuente: Proyecto Quebrada - Las Vacas Salinas

Fig. 4-4 Curva Granulométrica



Fuente: Proyecto Quebrada - Las Vacas Salinas

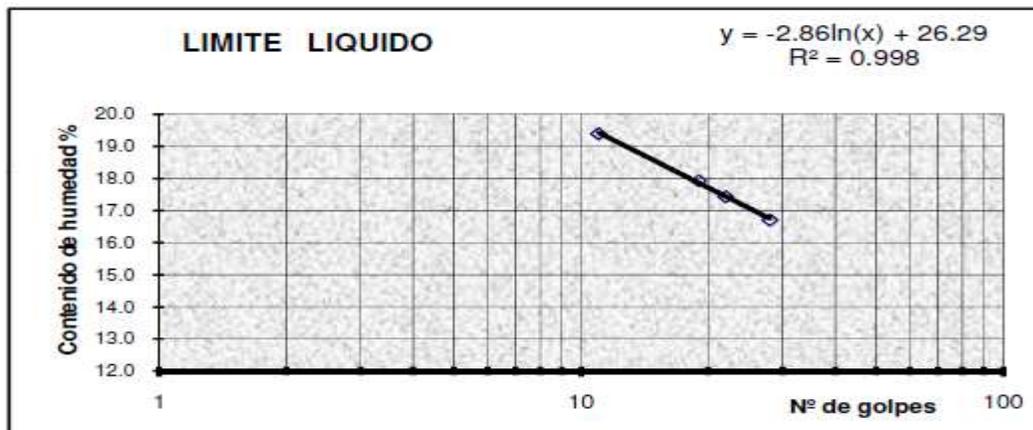
- Ensayo de Límites de Atterberg:

Tabla 4-2 Ensayo Límites de Atterberg

Capsula N°	1	2	3	4
N° de golpes	11	19	22	28
Suelo Húmedo + Cápsula	60.15	63.83	23.35	67.53
Suelo Seco + Cápsula	56.94	60.62	20.54	64.06
Peso del agua	3.21	3.21	2.81	3.47
Peso de la Cápsula	40.39	42.71	4.42	43.29
Peso Suelo seco	16.55	17.91	16.12	20.77
Porcentaje de Humedad	19.40	17.92	17.43	16.71

Fuente: Proyecto Quebrada - Las Vacas Salinas

Fig. 4-5 Gráfica Límite Líquido



Fuente: Proyecto Quebrada - Las Vacas Salinas

Determinación del Límite Plástico.-

Tabla 4-3 Ensayo Límites Plástico

Cápsula				Límite Líquido LL = 17.07
Peso de suelo húmedo - Cápsula				Límite Plástico LP =
Peso de suelo seco - Cápsula				Índice de plasticidad Ip = 0.00
Peso de cápsula				Índice de Grupo IG = 0
Peso de suelo seco				
Peso del agua				
Contenido de humedad				

Fuente: Proyecto Quebrada - Las Vacas Salinas

- La clasificación de la muestra del suelo es según la SUCS = GW y según la AASHTO= A-1 a (0) suelo con un índice de plasticidad (NP).

b) Tramo Copacabana - Yunchará.-

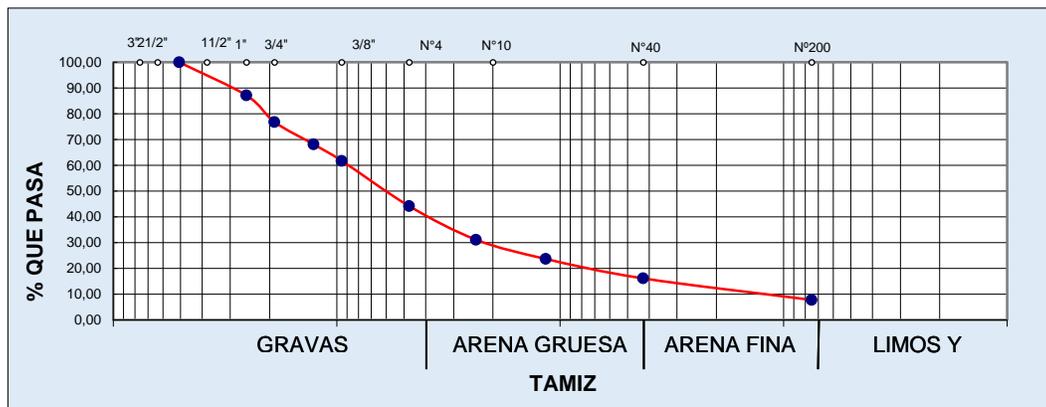
Ensayo de Granulometría: A continuación demostramos como se realizó el ensayo de la granulometría:

Tabla 4-4 Ensayo de Granulometría

Peso Total (gr.)		5000			
Tamices	tamaño (mm)	Peso Retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)		% que pasa del total
			(g)	(%)	
1 1/2"	50,8	0,00	0,00	0,0	100,0
1"	25,4	645,00	645,00	12,9	87,1
3/4"	19	517,00	1162,00	23,2	76,8
1/2"	12,7	432,00	1594,00	31,9	68,1
3/8"	9,52	321,10	1915,10	38,3	61,7
Nº4	4,75	876,40	2791,50	55,8	44,2
Nº10	2,38	653,70	3445,20	68,9	31,1
Nº40	1,18	372,90	3818,10	76,4	23,6
Nº100	0,59	377,50	4195,60	83,9	16,1
Nº200	0,08	417,30	4612,90	92,3	7,7

Fuente: Proyecto Copacabana Yunchará

Fig. 4-6 Gráfica Curva Granulométrica



Fuente: Proyecto Copacabana - Yunchará

- Ensayo de Límites de Atterberg:

Tabla 4-5 Ensayo Límites de Atterberg

	LIMITE LIQUIDO		
Cápsula No	16	14	6
No de golpes	13	20	30
Suelo húmedo + Cápsula	45,14	40,89	43,01
Suelo seco + Cápsula	42,18	38,31	39,78
Peso de agua	2,96	2,58	3,23
Peso de Cápsula	25,4	24,2	22,3
Peso suelo seco	16,78	14,11	17,48
Porcentaje de humedad	17,64	18,28	18,48

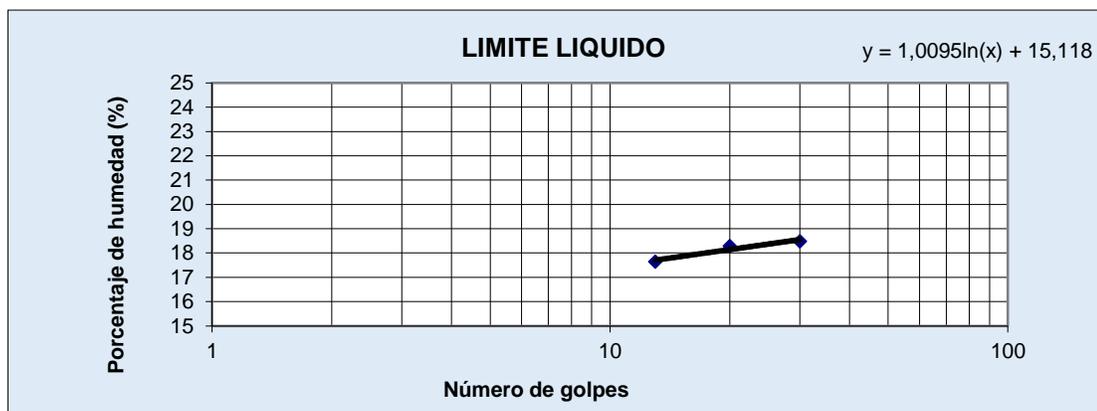
Fuente: Proyecto Copacabana - Yunchará

Tabla 4-6 Ensayo Límites Plástico

LIMITE PLASTICO			
Cápsula No.			
Peso suelo húmedo + Cápsula			
Peso suelo seco + Cápsula			
Peso del agua (Pa)		NO PLASTICO	
Peso de Cápsula			
Peso suelo seco (Ps)			
Porcentaje de humedad			

L. L =	18,4
LP. =	NP
I.P =	0

Fig. 4-7 Gráfica Límite líquido



Fuente: Proyecto Copacabana - Yunchará

- La clasificación de la muestra del suelo es según la AASHTO= A-3 (0) suelo con un índice de plasticidad (NP).
- c) **Tramo Carlaso - Piedra Larga.-**

Ensayo de Granulometría:

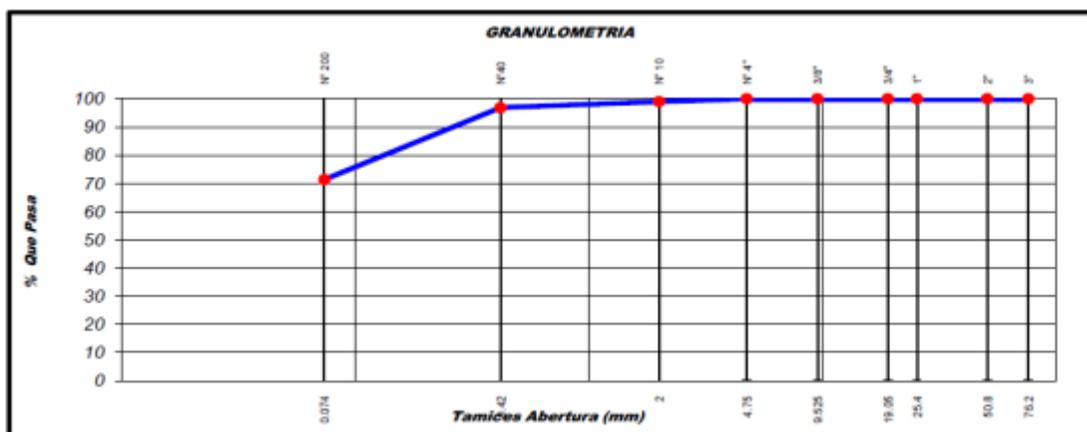
A continuación demostramos como se realizó el ensayo de la granulometría:

Tabla 4-7 Ensayo de Granulometría

Peso total seco (grs.)		500			Muestra pasa tamiz N° 4	500	
Tamiz N°	Peso Retenido Tamiz (grs)	Peso Retenido Acumulado (grs)	% Retenido Tamiz	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Abertura mm.	Especificaciones
3"	0	0.0	0.0	0.0	100.0	76.2	
2"	0.0	0	0.0	0.0	100.0	50.8	
1"	0.0	0	0.0	0.0	100.0	25.4	
3/4"	0.0	0	0.0	0.0	100.0	19.05	
3/8"	0.0	0	0.0	0.0	100.0	9.5	
4	0.0	0	0.0	0.0	100.0	4.8	
10	4.9	4.9	1.0	1.0	99.0	2.0	
40	10.8	15.7	2.2	3.1	96.9	0.42	
200	127.4	143.1	25.5	28.6	71.4	0.074	

Fuente: Proyecto Carlaso - Piedra Larga

Fig. 4-8 Curva Granulométrica



Fuente: Proyecto Carlaso - Piedra Larga

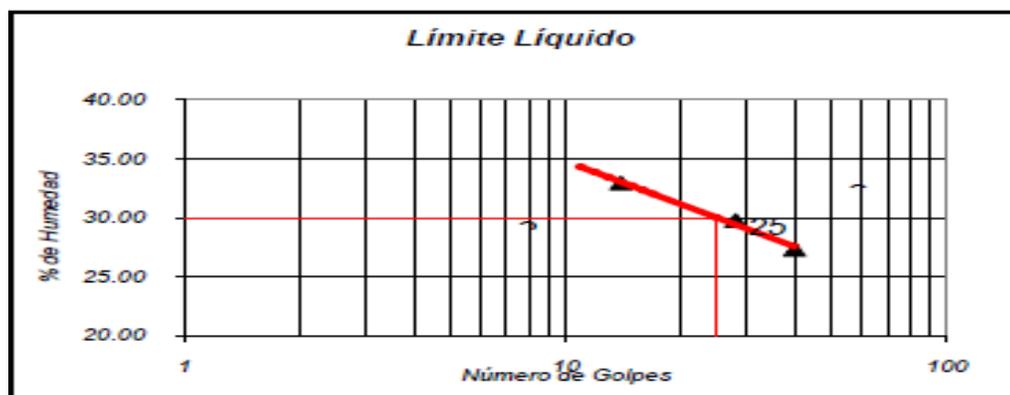
- Ensayo de Límites de Atterberg:

Tabla 4-8 Ensayo Límites de Atterberg

LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T-89							
Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tar	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
9	41.81	37.60	4.21	24.82	12.78	32.94	14
21	44.94	40.65	4.29	26.24	14.41	29.77	28
12	43.38	39.4	3.98	24.84	14.56	27.34	40
LIMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90							
13	33.51	32.63	0.88	27.61	5.02	17.53	
17	29.88	29.12	0.76	24.71	4.41	17.23	17.38
Limite Líquido	30.0	Limite Plástico	17.4	Indice de Plasticidad	12.6	CLASIFICACION AASHTO M 145	
						AASHTO	A - 6 (8)

Fuente: Proyecto Carlaso - Piedra Larga

Fig. 4-9 Gráfica Límite Líquido



Fuente: Proyecto Carlaso - Piedra Larga

- La clasificación de la muestra del suelo es según la AASHTO= A-6 a (8) suelo con un índice de plasticidad (12,60).

4.3 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS TIPOS DE GEOSINTÉTICOS.-

- Geomalla Biaxial Coextruida.-

Tabla 4-9 Especificaciones Técnicas de la Geomalla



GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUIDA

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
P-BX11 / P-BX12

Las geomallas biaxiales son estructuras bidimensionales de polipropileno, químicamente inertes, producidas mediante un proceso de extrusión, garantizando alta resistencia a la tensión y un alto módulo de elasticidad. Proporciona excelente resistencia frente a posibles daños de instalación y exposición ambiental. Están diseñadas especialmente para estabilización de suelos y aplicaciones de refuerzo.

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	P-BX11	P-BX12
Resistencia a la tensión a 2% deformación (SLST) ¹	ASTM D6637	(4.1/10.2) kN/m	(4.0/10.2) kN/m
Resistencia a la tensión a 5% deformación (SLST) ¹	ASTM D6637	85/13.4) kN/m	(11.4/15.8) kN/m
Resistencia a la tensión pico (SLST) ¹	ASTM D6637	(12.4/19.0) kN/m	(19.2/28.8) kN/m
Eficiencia en los nodos ²	GR-G23	99%	99%
Rigidez flexural ³	ASTM D1388	250 mg · cm x 1000	250 mg · cm x 1000
Rigidez torsional (T) ⁴	US ARMYCOE	3.2 kg · cm/kg	6.5 kg · cm/kg

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	P-BX11	P-BX12
Tamaño de abertura (SLST) ⁵	Medido	(25/33) mm	(25/33) mm
Espesor de costillas (SLST) ⁵	ASTM D1777	(0.78/0.76) mm	(1.27/1.27) mm
Área abierta	DW02215	75%	80%
Resistencia a los daños de instalación ⁶	ASTM D6637	(≥90) %	(≥90) %
Resistencia a la degradación a largo plazo ⁷	ASTM D4355-05	>100%	>100%

TRECESTACIÓN	NORMA	P-BX11	P-BX12
Ancho del rollo	Medido	4.0 m	4.0 m
Longitud del rollo	Medido	75 m	90 m
Área del rollo	Medido	300 m ²	300 m ²

CAMPOS DE APLICACIÓN

- Refuerzo de suelos blandos.
- Refuerzo de materiales granulares en vías y terraplenes.
- Refuerzo secundario en muros de contención.
- Refuerzo de terraplenes en vías y terraplenes.

VENTAJAS

- Aumento (hasta 80%) de la estructura local al utilizarla en los granulares.
- Genera el crecimiento vertical en la superficie de pillos al reemplazar los granulares.
- Distribuye espesores de granulares al empillado como refuerzo.

NOTAS

1. Valores MBR (valor mínimo promedio por rollo)
2. Sección transversal
3. Sección transversal
4. Capacidad de resistencia de carga determinada de acuerdo con la GR-G23 y expresada como un porcentaje de la resistencia a la tensión
5. Resistencia a la rigidez flexural determinada de acuerdo con la ASTM D2572 en los bordes internos de las costillas longitudinales (como una escala) y la longitud entre bordes para permitir flexiones de la siguiente manera: la rigidez se calcula como la sumatoria del producto de los valores de rigidez flexural en los ejes D1 y D2.
6. Resistencia en el punto de instalación de instalación: medida realizada en la aplicación de un sustrato de 20 kg/cm² en la parte central de una muestra de 4' x 4' colocada en su periferia de acuerdo con la metodología del Consejo de Registros de TPA para métodos de ingeniería Terzaghi.
7. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga a largo plazo: estimada (cuando la muestra es sometida a esfuerzos de tracción mecánica en arena artificial y material grueso clasificado como grava (petróleo) grada 50). La muestra debe ser sometida de acuerdo con la ASTM D1683-05 y la capacidad de carga debe ser determinada de acuerdo con la norma ASTM D607-01.
8. Resistencia a la pérdida de capacidad de carga a largo plazo: cuando la muestra es sometida a 300 toneladas de sufriendo y condiciones similares de tiempo de acuerdo con la ASTM D607-01.

Fuente: Manual Geosoft 3.0

Geotextil Tejido y NO Tejido.-

- Geotextil Tejido:

Tabla 4-10 Especificaciones Técnicas Geotextil Tejido

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 D4632	N (lb)	730 (164)	950 (213)	990 (222)	1360 (306)	1519 (340)	2150 (484)	2540 (572)	3070 (691)
Elongación		%	20	16	17	17	17	18	19	20
Método tira ancha Sentido longitudinal Elongación	ASTM D4595	kN/m	19	24	25	33	42	60	72	122
		%	22	21	16	19	21	23	24	19
Sentido transversal Elongación	ASTM D4595	kN/m	19	25	27	37	48	58	64	127
		%	14	15	13	14	15	16	17	18
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	400 (90)	470 (106)	490 (110)	560 (126)	680 (153)	950 (213)	1100 (247)	1100 (247)
Método CBR Resistencia al punzonamiento	ASTM D6241	kN	2.9	3.4	3.6	5.0	5.5	8.0	8.1	12.0
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	N (lb)	300 (67)	370 (83)	340 (76)	470 (106)	520 (117)	650 (145)	770 (173)	1611 (363)
Método Muller Burst Resistencia al estallido	ASTM D3786	kPa (psi)	2302 (334)	2909 (422)	3088 (448)	3957 (574)	4653 (675)	6288 (912)	7074 (1026)	8100 (1174)
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm (in.) Tamis	0.425 (40)	0.300 (50)	0.300 (50)	0.300 (50)	0.425 (40)	0.425 (40)	0.425 (40)	0.425 (40)
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	1.2 x 10 ⁻²	1.2 x 10 ⁻²	1.2 x 10 ⁻²	6.5 x 10 ⁻²	5.5 x 10 ⁻²	6.0 x 10 ⁻²	6.1 x 10 ⁻²	2.0 x 10 ⁻²
Permeabilidad	ASTM D4491	m ²	0.30	0.20	0.17	0.66	0.55	0.62	0.55	1.20
Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m ²	851	490	458	2100	1506	1513	1720	1900
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Espesor	ASTM D5199	mm	0.4	0.6	0.7	1.0	1.0	1.1	1.3	0.6
Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
Rollo ancho	Medido	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.75
Rollo largo	Medido	m	200	160	160	140	120	100	100	100
Rollo área	Calculado	m ²	770	616	616	539	462	385	385	375
PROPIEDADES GEOTEXTIL	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Separación			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Estabilización			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Refuerzo			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Manual Geosoft 3.0

Tabla 4-11 Especificaciones Técnicas Geotextil No Tejido

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 D4632	N (lb)	440 (99)	530 (118)	630 (141)	750 (169)	830 (187)	1040 (233)	1255 (283)	1410 (320)	1720 (391)	530 (120)	600 (135)
Elongación		%	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	250 (57)	310 (70)	360 (81)	400 (91)	440 (100)	500 (114)	700 (159)	800 (180)	910 (207)	300 (68)	330 (74)
Método CBR Resistencia al punzonamiento	ASTM D6241	kN	1.4	1.6	1.7	2.3	2.4	3.1	3.4	4.1	5.4	N.A.	N.A.
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	N (lb)	190 (43)	230 (52)	233 (53)	200 (45)	313 (71)	360 (81)	420 (94)	340 (78)	600 (136)	233 (53)	200 (46)
Método Muller Burst Resistencia al estallido	ASTM D3786	kPa (psi)	1811 (190)	1587 (228)	1794 (260)	2070 (300)	2308 (332)	2879 (412)	3174 (460)	3795 (550)	4880 (700)	1518 (220)	1587 (228)
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm (in.) Tamis	0.180 (80)	0.150 (100)	0.150 (100)	0.125 (120)	0.125 (120)	0.09 (170)	0.09 (170)	0.09 (170)	0.09 (170)	N.A.	N.A.
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	4.5 x 10 ⁻²	4.2 x 10 ⁻²	5.8 x 10 ⁻²	3.8 x 10 ⁻²	3.5 x 10 ⁻²	3.6 x 10 ⁻²	2.4 x 10 ⁻²	2.2 x 10 ⁻²	1.5 x 10 ⁻²	N.A.	N.A.
Permeabilidad	ASTM D4491	m ²	2.9	2.5	2.2	1.9	1.8	1.2	1.0	0.7	0.5	N.A.	N.A.
Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m ²	8109	8503	6120	3043	4890	3440	3160	2284	2060	N.A.	N.A.
Retención de arillo	ASTM D6140	L/m ²	N.A.	1.0	1.0								
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Espesor	ASTM D5199	mm	1.5	1.2	1.2	2.0	2.0	2.2	2.4	3.1	3.2	1.4	1.4
Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
Punto de fusión	ASTM D276	°C	N.A.	150	150								
Rollo ancho	Medido	m	3.3-3.8-4.0	3.3-3.8-4.0	3.3-3.8-4.0	3.3-3.8-4.0	3.3-3.8-4.0	3.3-3.8-4.0	3.3-3.8-4.0	3.3-3.8-4.0	3.3-3.8-4.0	3.4	3.4
Rollo largo	Medido	m	160	150	120	120	130	120	130	140	180	180	150
Rollo área	Calculado	m ²	540-608-640	525-570-600	455-494-520	420-456-480	420-456-480	455-494-520	420-456-480	500-560-600	240-300-320	584	570
FUNCION DEL GEOTEXTIL	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Filtración			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Drenaje			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Protección			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Separación			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Estabilización			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reapimentación			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Manual Geosoft 3.0

4.4. PARÁMETROS DE ENTRADA.-

4.4.1.- Modulo I:

Refuerzo en Vías Empleando Geomalla Biaxial Coextruida.-

Analizamos el primer módulo que es Refuerzo en vías Empleando Geomalla Biaxial Triaxial como parámetros de entrada para nuestro primer módulo tenemos:

a) Parámetros de diseño.-

- Espesor de Pavimento D_1 (cm): El espesor especificado de la capa (di) es el espesor designado para cualquier capa del sistema de pavimento flexible. Se adoptó un valor de espesor de la carpeta asfáltica de 5 cm (1,97 in).
- Coeficiente Estructural a_1 (1/plg): El coeficiente adoptado para esta carpeta asfáltica según la AASHTO será de 1
- Tipo de geomalla: En este caso optamos por usar la geomalla de refuerzo del Tipo A P-BX11 (20 kn) para nuestro primer análisis, para el segundo análisis se usará el tipo de geomalla A P-BX12 (30 kn), para que luego se haga un análisis económico de cuál es la mejor opción.

b) Material Granular.-

- Número de capas Granulares: El número estructural representa la capacidad de un pavimento flexible para soportar las cargas estructurales. Para el número de capas a utilizar en el diseño se determinó según proyecto que será de dos capas fuera de la subrasante, es decir, para el primer tramo se tiene una base de 15 cm y una subbase de 18 cm. Para el segundo tramo el valor de la base será de 15 cm y de 20 para la subbase. En el tercer tramo el valor de la base será de 20 cm y de 23 para subbase.
- Coeficiente Estructural por capa a_i : el coeficiente estructural es el coeficiente adoptado según el diseño de la AASHTO donde se usa un valor de 0.17 para la base granular y de 0.11 para la subbase.

- Coeficiente de Drenaje m_i : Este factor ha sido integrado en las ecuaciones de número estructural como un modificador al coeficiente de capa (a_i) y al espesor de la capa (d_i). La Guía en la selección del coeficiente de drenaje se provee en el siguiente cuadro:

Tabla 4-12 Coeficiente de Drenaje

Calidad de Drenaje	Menos de 1%	1-5%	5-25%	Más de 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Buena	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy Pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: Guía de Diseño AASHTO

- CBR de la subrasante: Para la obtención del CBR de material granular se realizó previamente los ensayos de laboratorio con varias muestras del tramo, del cual escogimos un valor de CBR de subrasante de 3,39% para usarse en el cálculo. Para el segundo tramo el valor del CBR de subrasante es de 5% y para el tercer análisis será de 3,29%.
- Confiabilidad R (%): Es el nivel de confianza en carreteras para este proyecto optamos por un valor de 89,44%, para el segundo tramo se usó un valor de 80% y para el tercer tramo un valor de 85%. Estos valores fueron sacados de la siguiente tabla:

Tabla 4-13 Confiabilidad R (%)

Clasificación Funcional	Urbana	Rural
Interestatal y Otras Autopistas	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: Guía de Diseño AASHTO

- La Desviación Estándar (S_o): toma en cuenta todos los errores o variabilidad asociada con los datos de diseño y construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, propiedades del suelo de fundación, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción, se recomienda un valor de 0.49 para el primer tramo, un valor de 0,35 para el segundo tramo y un valor de 0,45 para el tercer tramo, según la Guía de Diseño AASHTO.
- La serviciabilidad inicial (p_o): Es una medida de la suavidad del pavimento o facilidad de conducción inmediatamente después de la construcción. La serviciabilidad tiene un rango en una escala de 0 a 5. En el primer caso se ha utilizado una serviciabilidad de 4.20, para el segundo tramo un valor de 4,5 y para el tercer tramo un valor de 4,30.
- La serviciabilidad final (p_t): Es la serviciabilidad mínima tolerable del pavimento, Valores típicos de serviciabilidad final están entre 2 y 3, dependiendo de la clasificación funcional de la carretera, las recomendaciones de AASHTO para la selección de la serviciabilidad final son:

✓ Volumen Alto (>10.000 TPDA)	3.0-3.5
✓ Volumen Medio (3,000-10,000 TPDA)	2.5-3.0
✓ Bajo Volumen (< 3,000 TPDA)	2.0-2.5

Se adopta una serviciabilidad final de 2.50.

- Módulo Resiliente de la subrasante MR (psi): para el módulo de la subrasante, es decir, el módulo Resiliente tomamos un valor de 45 Mpa (6526.698 psi) y también se analizará posteriormente con un valor de 90 Mpa (13053,39695 psi).
- El número de ejes equivalentes (W_{18}): valor calculado según estudios de tráfico en el lugar del proyecto siendo el valor de 1144,004, para el primer

tramo, en el segundo tramo se usará un valor de 1281,317 y para el tercer tramo un valor de 1246,215.

4.4.2. Módulo II:

Estabilización de Subrasante con Material Geosintético.-

Los parámetros de entrada para la estabilización de la subrasante con material geosintético son los siguientes:

- a) Datos de tráfico.-
 - Carga por Eje (KN).- Las aplicaciones de cargas de ejes equivalentes de 80KN (18kip) (ESAL) son el número acumulado de aplicaciones de cargas que el pavimento recapado soportará a lo largo de su período inicial de desempeño. Este valor se sacó de la guía ASSHTO.
 - Presión de inflado (kpa).- Es la presión que ejerce la llanta sobre el pavimento, este valor es de 451.612 psi, este valor será usado para todos los tramos.
 - Número de Repeticiones.- El número de repeticiones usado por la AASHTO es de 1000 valor utilizado para los tres tramos.
 - Ahuellamiento máximo Permitido (mm).- El ahuellamiento máximo permitido es de 50 mm valor sacado de la guía AASHTO, valor utilizado para los tres tramos en estudio.
- b) Geosintéticos de Refuerzo.- para el refuerzo de la carpeta asfáltica estamos tomando en cuenta el Geotextil no tejido, luego se realizara otro análisis con la geomalla tipo P-BX11 (20 kn) y la geomalla tipo P-BX12 (30 kn).
- c) Propiedades del Suelo de Fundación y Relleno.-
 - CBR de material Granular (%).- valor del CBR de material granular que en este caso es la base fue obtenido desde las pruebas de laboratorio realizadas con un valor de 50,62% para base del primer tramo, un valor de 66% para el segundo tramo y un valor de 85% para el tercer tramo.

- CBR de la Subrasante (%).-Valor del CBR obtenido de las pruebas de laboratorio realizadas con las muestras del material, usamos un valor 3.39% para el primer tramo, 5% para el segundo tramo y un valor de 3,29% para el tercer tramo.

4.4.3.- Módulo III:

Separación de las Capas Granulares con Material Geosintético.-

A) Parámetros de diseño:

- Presión de inflado p' : La presión de inflado es la presión que ejerce el neumático sobre el asfalto para nuestro proyecto será un valor de 70 lb/cm^2 igual a 451,612 psi para un análisis y para el otro será un valor de 100 psi igual 690 kpa.
- Factor de seguridad Parcial: El factor de seguridad parcial varía entre 1 a 2 para nuestro caso usaremos el valor de 1,5.
- Diámetro Máximo de las partículas de agregados (plg): Es el diámetro máximo de las partículas existentes en el material granular, según el análisis de granulometría el diámetro máximo está entre los 2.5" (plg) y 4" (plg).

B) Tipo de suelo de subrasante:

- Se escogió el tipo de suelos arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos del 50% pasa tamiz # 200).

C) Criterio de Retención:

- D_{10} (mm): Tamaño de partículas (en milímetros) que corresponde al 10% del suelo que pasa al ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo; en este caso será 21,4 mm para material de Base y un valor de 35,4 mm para el segundo análisis de material Subbase.
- D_{60} (mm): Tamaño de partículas (en milímetros) que corresponde al 60% del suelo que pasa al ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo en este caso será el valor de 142,96 mm para el

primer análisis de material de Base y un valor de 68,029 mm para nuestro segundo análisis para el material de Subbase.

- D_{85} (mm): D_{85} = Tamaño de partículas (en milímetros) que corresponde al 85% del suelo que pasa al ser tamizado. Este dato se obtiene de la curva granulométrica del suelo; en este caso será el valor de 83,45 mm para el primer análisis de material de Base y un valor de 85,18 mm para nuestro segundo análisis para el material de Subbase.

D) Criterio de Permeabilidad:

- Permeabilidad del suelo de subrasante k (cm/s): Es la permeabilidad existente en el material granular usado en el proyecto el valor es de 0.0000025 cm/s.

E) Criterio de Retención:

- TAA es el criterio de retención por tamaño de abertura aparente, que permite determinar el tamaño de las aberturas del geotextil para evitar la migración de suelo fino hacia las capas granulares. Se usó un valor de 1, según el cálculo realizado.

4.5. DIMENSIONAMIENTO DE REFUERZOS EN SUBRASANTE.-

a) Tramo Quebrada - Las Vacas Salinas

Módulo 1:

4.5.1 Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo I

Refuerzo en vías Empleando Geomalla Biaxial Triaxial:

Paso N°1:

- Después de haber colocado los datos del proyecto continuamos con la introducción de los datos de entrada que son los parámetros de diseño (capa de concreto asfáltico, refuerzo, material granular y CBR de la subrasante) todos estos parámetros ya fueron descritos en parámetros de entrada.

- Después de haber introducido todos los datos de entrada procedemos a calcular el Número Estructural (SN) el cual para los datos introducidos nos da un valor de 3,5, cuyo valor está dentro de lo aceptable según la norma de la AASHTO 93.

Fig. 4-10 Parámetros de Entrada

REFUERZO EN VÍAS EMPLEANDO GEOMALLA BIAxIAL

Geosoft® PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Espesor D_1 5,0 cm

Coeficiente estructural a_1 [1/pg] 1,0

REFUERZO

Tipo de Geomalla de Refuerzo TIPO A P-8x11 (20kN/m)

MATERIAL GRANULAR

Numero de Capas Granulares 2

CAPA	D_i	Unidades D_i	a_i	m_i
1	15,0	cm	0,17	1,0
2	18,0	cm	0,11	1,0

Número Estructural SN 3,75 Calcular

CBR Subrasante (%) 3,39 Desea Revisar el diseño inicial (AASHTO 93?) SI NO

Fuente: Propia

Paso N°2:

- Al continuar con el programa se debe introducir como datos la confiabilidad R (%), desviación estándar (So), índice de servicio inicial (Po), índice de servicio final (Pt), módulo resiliente de la subrasante en Mpa, todos estos valores ya fueron explicados en el anterior punto (parámetros de entrada).
- Se anota también el número de ejes equivalentes que para nuestro caso es 1144,004.
- Escogemos el tipo de análisis que se realizará que será el tipo de calcular el número estructural SN.
- Calculamos el número estructural y el programa analiza si cumplen o no cumplen los datos introducidos para poder continuar con nuestro análisis.

Fig. 4-11 Proceso de Cálculo

Geosoft Pavco v3.0

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAIXIAL

Geosoft®
PAVCO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993

Confiabilidad R (%) Módulo de la subrasante MR (psi)

Desviación Estándar So Tipo de Análisis Calcular Número Estructural SN
 Calcular Número De Ejes

Índice de servicio inicial Po

Índice de servicio Final Pt

$$\log_{10} \left(\frac{W_{18}}{18} \right) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.75}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

CALCULAR NÚMERO ESTRUCTURAL

Número de Ejes equivalentes (W₁₈)

Número estructural Calculado

Observación

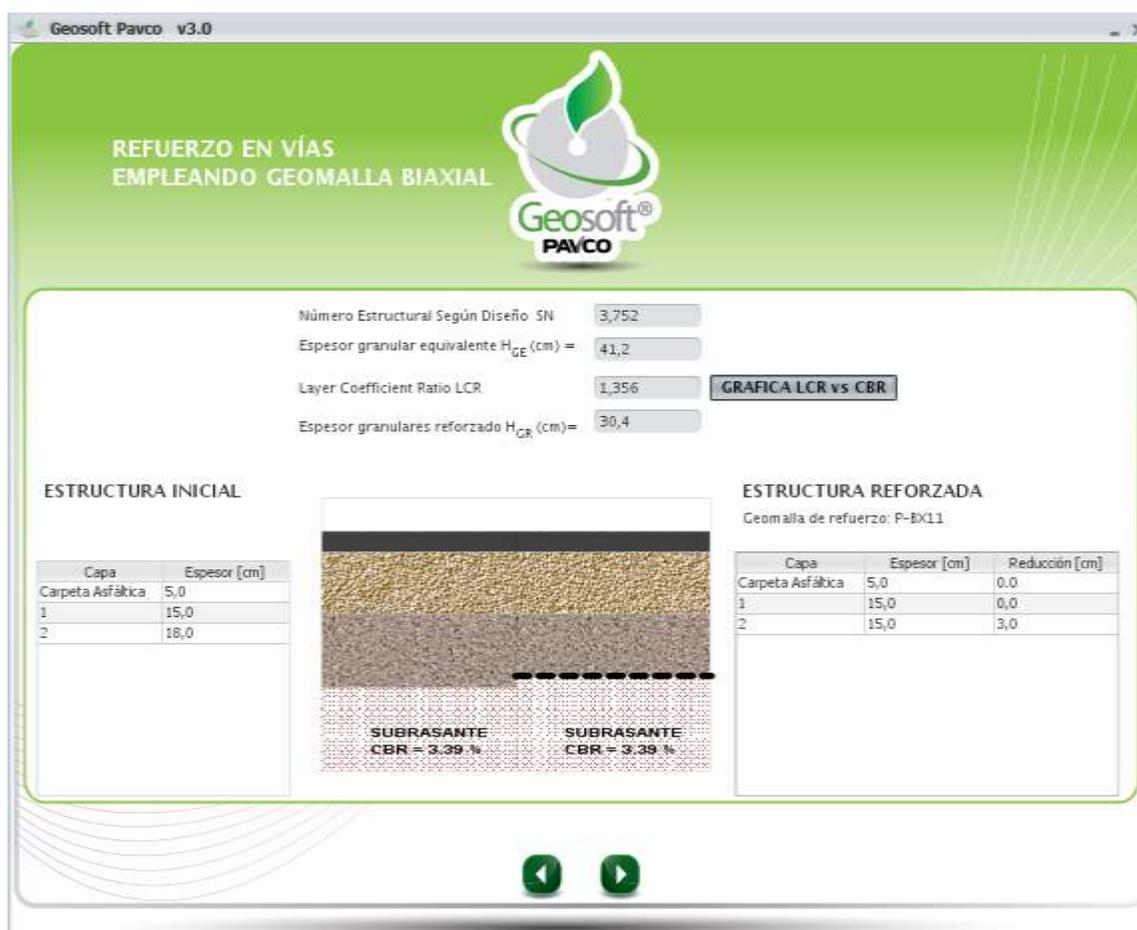
← ? →

Fuente: Propia

Paso N°3:

- En este paso se muestran los resultados de todos los cálculos realizados, además de mostrar también los datos introducidos anteriormente.
- También nos muestra la figura de la estructura inicial del pavimento a ser diseñado.
- Nos muestra una opción para graficar el LCR vs el CBR, grafica que no es de importancia para nuestro análisis.

Fig. 4-12 Resultados



Fuente: Propia

Paso N°4:

- En este paso lo que hacemos es que el programa nos muestra la gráfica de cómo se verá el pavimento con el refuerzo de la geomalla elegida, el CBR introducido del material de la subrasante, además de una pequeña recomendación sobre la gráfica o de donde se debe colocar la geomalla para mejores resultados y mayor refuerzo de todo el pavimento en sí.

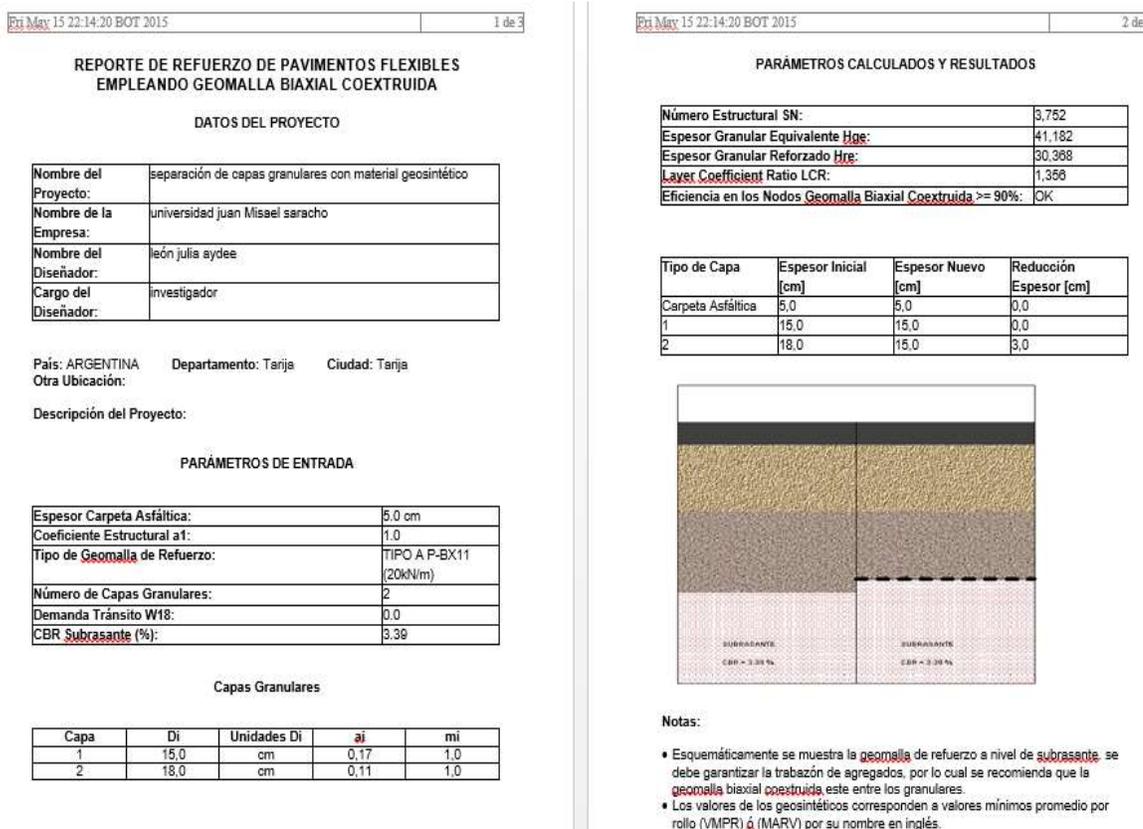
Fig. 4-13 Gráfica de la Estructura Final con y sin Refuerzo.

Fuente: Propia

Paso N°5:

- Luego de realizar todo el análisis, el programa con el que generamos el reporte de todo lo trabajado, este reporte nos muestra los datos introducidos y los resultados que obtuvimos.
- También nos muestra cómo se verá la capa de pavimento asfáltico con el material geosintético como refuerzo.
- Además también nos da una pequeña nota sobre el material geosintético usado en este caso la geomalla biaxial coextruída, además de una advertencia sobre los datos o valores introducidos en el programa. Así como nos muestra la siguiente figura:

Fig. 4-14 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

4.5.2. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo II.-

Paso N° 1.-

- Para este paso usaremos los mismos valores ya usados en el anterior punto, (dimensionamiento con Geosintéticos tipo I), Como ser: los parámetros de diseño y el material granular. Ya que estos valores son dados desde el proyecto.
- En el parámetro de entrada de refuerzo escogeremos para este análisis la geomalla tipo B P-BX12 (30 KN).
- El valor del CBR de la subrasante se mantiene en 3.39%.
- Los valores de material granular como se explicó seguirán siendo los mismos ya que las capas de base y subbase no cambiaran de espesor para este tipo de análisis. Sólo se está cambiando el tipo de geomalla.
- Al calcular este número estructural, nos da un valor de 21,22.

Fig. 4-15 Parámetros de Entrada

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAXIAL

Geosoft
PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Espesor D_2 5,0 cm

Coefficiente estructural a_1 [1/pq] 1,0

REFUERZO

Tipo de Geomalla de Refuerzo
TIPO B P-BX12 (30KN/m)

MATERIAL GRANULAR

Número de Capas Granulares: 2

	CAPA	D _i	Unidades D _i	a _i	m _i
1		15,0	cm	0,17	1,0
2		18,0	cm	0,13	1,0

Número Estructural SN 3,75

Calcular

CBR Subrasante (%) 3,39

Desa Revisar el diseño inicial (AASHTO 93)? SI NO

Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Para este paso utilizamos un módulo resiliente de 45 Mpa = 6526,69847 psi.
- Los datos de diseño de pavimentos flexibles se mantienen como datos de proyecto ya definidos.
- Para el cálculo del número estructural usaremos el número de ejes equivalentes (W18) igual a 1144,004.
- Al calcular el número estructural nos da como resultado un valor de 2,21, dicho valor cumple con la norma de la ASSHTO que analiza el programa.

Fig. 4-16 Proceso de Cálculo

REFUERZO EN VÍAS EMPLEANDO GEOMALLA BIAXIAL

Geosoft® PAVCO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993

Confiabilidad R [%] Módulo de la subrasante MR [psi]

Desviación Estándar So Tipo de Análisis Calcular Número Estructural SN Calcular Número De Ejes

Índice de servicio Inicial Po

Índice de servicio Final Pt

$$\log_{10} \left(\frac{W_{18}}{18} \right) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{3.19}}} + 2.32 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

CALCULAR NÚMERO ESTRUCTURAL

Número de Ejes equivalentes (W18)

Número estructural Calculado

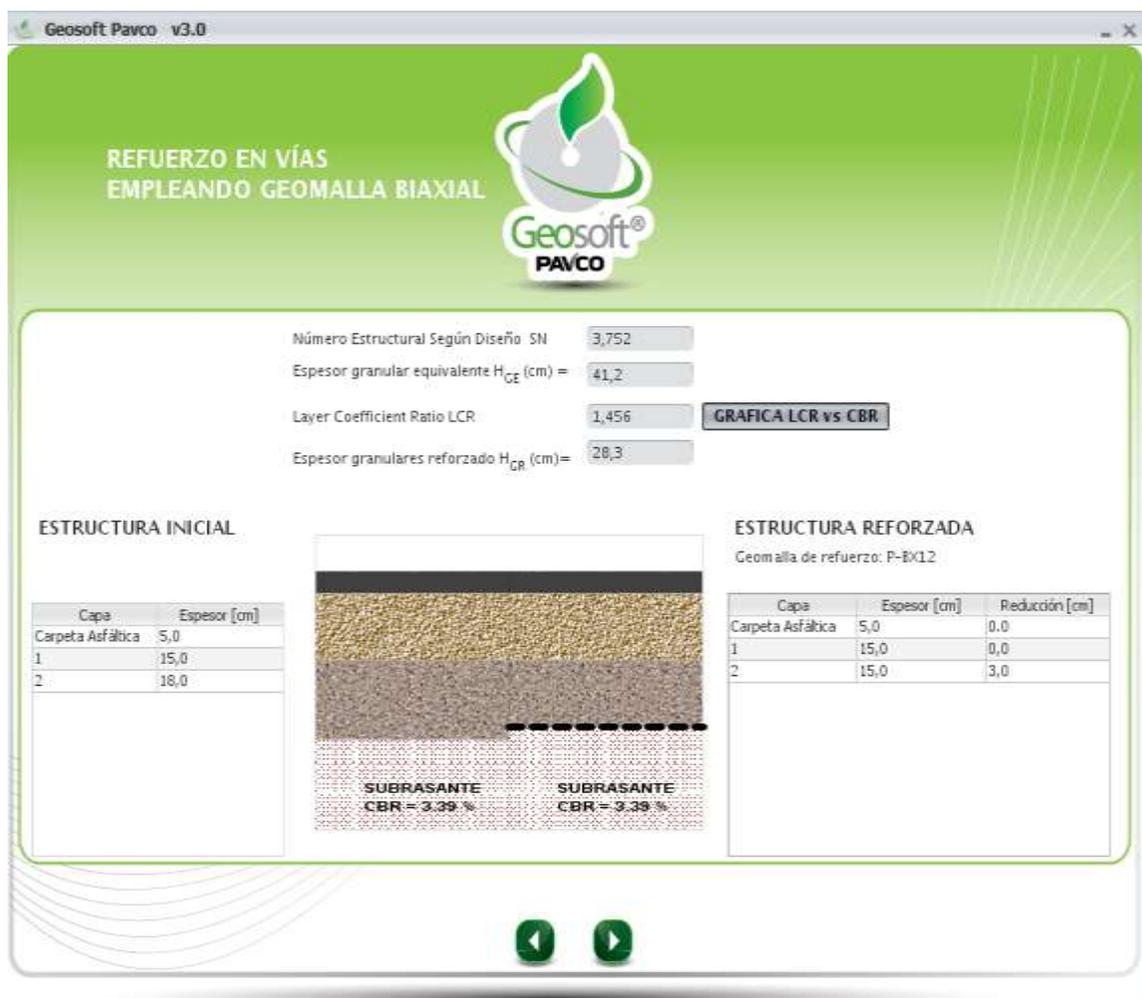
Observación

Fuente: Propia

Paso N° 3.-

- Aquí nos muestra el programa todos los resultados de los cálculos hechos por el programa y datos introducidos.
- Nos muestra la gráfica de la carpeta asfáltica ya reforzada.
- Y nos muestra la estructura ya reforzada con los valores finales, donde nos indica que se reduce la capa de subbase en 3 cm con lo cual queda en un espesor de 15 cm.

Fig. 4-17 Resultados



Fuente: Propia

Paso N° 4.-

- En paso sólo nos muestra la gráfica final de cómo se verá el paquete estructural del pavimento con el refuerzo ya introducido de la Geomalla biaxial coextruída tipo II.

Fig. 4-18 Grafica de la Estructura Final con y sin Refuerzo.

Fuente: Propia

Paso N° 5.-

- Ahora generamos el reporte del análisis realizado.
- Este reporte nos muestra los datos introducidos del proyecto, los parámetros de entrada, las capas granulares con los valores indicados y nos dan los parámetros calculados y resultados obtenidos.
- También nos da el resumen de las capas granulares con la debida reducción que se hará con la implementación del material de geomalla.
- Y por último, nos muestra la gráfica del paquete estructural con el refuerzo de la geomalla ya colocada entre las capas granulares.

Fig. 4-19 Reporte del Módulo Analizado

Fri May 15 22:21:39 BOT 2015 1 de 3

**REPORTE DE REFUERZO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
EMPLEANDO GEOMALLA BIAXIAL COEXTRUIDA**

DATOS DEL PROYECTO

Nombre del Proyecto:	separacion de capas granulares con material geosintetico
Nombre de la Empresa:	universidad juan misael saracho
Nombre del Diseñador:	leon julia aydee
Cargo del Diseñador:	investigador

País: ARGENTINA Departamento: tarija Ciudad: tarija
Otra Ubicación:

Descripción del Proyecto:

PARÁMETROS DE ENTRADA

Espeor Carpeta Asfáltica:	5.0 cm
Coefficiente Estructural a1:	1.0
Tipo de Geomalla de Refuerzo:	TIPO B P-BX12 (30kN/m)
Número de Capas Granulares:	2
Demanda Tránsito W18:	0.0
CBR Subrasante (%):	3.39

Capas Granulares

Capa	DI	Unidades DI	a1	m1
1	15.0	cm	0.17	1.0
2	18.0	cm	0.11	1.0

Fri May 15 22:21:39 BOT 2015 2 de 3

PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS

Número Estructural SN:	3.752
Espeor Granular Equivalente Hge:	41.182
Espeor Granular Reforzado Hre:	28.282
Layer Coefficient Ratio LCR:	1.456
Eficiencia en los Nodos Geomalla Biaxial Coextruida >= 90%:	OK

Tipo de Capa	Espeor Inicial [cm]	Espeor Nuevo [cm]	Reduccion Espeor [cm]
Carpeta Asfáltica	5.0	5.0	0.0
1	15.0	15.0	0.0
2	18.0	15.0	3.0

Notas:

- Esquemáticamente se muestra la geomalla de refuerzo a nivel de subrasante. se debe garantizar la tracción de agregados, por lo cual se recomienda que la geomalla biaxial coextruida este entre los granulares.
- Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPP) ó (MARV) por su nombre en ingles.

Fuente: Propia

b) Tramo 2 Copacabana - Yunchará**Módulo 1:****4.5.3. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo I****Refuerzo en vías Empleando Geomalla Biaxial Triaxial:****Paso N° 1:**

- Lo primero que se hace en este módulo es ingresar los datos y parámetros de entrada de la capa de concreto asfáltico (espesor y coeficiente estructural), el CBR de la capa de subrasante.
- En material granular se debe poner la cantidad de capas granulares que tiene todo el paquete estructural el espesor de cada capa granular, el coeficiente estructural de cada capa granular y el coeficiente de drenaje.
- Escogemos también el tipo de geosintético que se utilizará para este análisis usaremos la geomalla de tipo A P-BX11 (20 KN/m).
- Por último escogemos la opción de SI revisar el diseño inicial según la AASHTO 93.
- Una vez introducidos y elegidos todos los parámetros requeridos calculará el número estructural (SN), como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-20 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAIXIAL

Geosoft®
PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Espesor D_1 5,0 cm

Coefficiente estructural a_1 [1/pg] 1,0

REFUERZO

Tipo de Geomalla de Refuerzo
TIPO A P-BX11 (20kN/m)

MATERIAL GRANULAR

Numero de Capas Granulares 2

CAPA	Di	Unidades Di	a_1	mi
1	15,0	cm	0,17	1,0
2	20,0	cm	0,11	1,0

Número Estructural SN 3,84 **Calcular**

CBR Subrasante (%) 5,0

Desea Revisar el diseño inicial (AASHTO 93)? SI NO

Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Para este paso utilizamos un módulo resiliente de 90 Mpa = 13053,397 psi.
- Los datos de diseño de pavimentos flexibles se mantienen como datos de proyecto ya definidos, que para este tramo serán de: $R=80\%$, $S_o=0,35$, $P_o=4,5$, $P_t=2,5$.
- Para el cálculo del número estructural usaremos el número de ejes equivalentes (W18) igual a 1281,317.
- Al calcular el número estructural nos da como resultado un valor de 0,687, dicho valor cumple con la norma de la ASSHTO que analiza el programa.

Fig. 4-21 Proceso de Cálculo

Geosoft PAVCO v3.0

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAxIAL

Geosoft®
PAVCO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993

Confiabilidad R [%] 80 Módulo de la subrasante MR [psi] 13053,397

Desviación Estándar So 0,35 Tipo de Análisis Calcular Número Estructural SN
 Calcular Número De Ejes

Indice de servicio Inicial Po 4,5

Indice de servicio Final Pt 2,5

$$\log_{10} \left(\frac{W_{18}}{W_{15}} \right) = Z_R \times S_o + 2.35 \times \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{3.70}{(SN + 1)^{3.70}}} + 2.52 \times \log_{10} (M_R) - 8.07$$

CALCULAR NÚMERO ESTRUCTURAL

Número de Ejes equivalentes (W₁₈) 1281

Número estructural Calculado 0,687

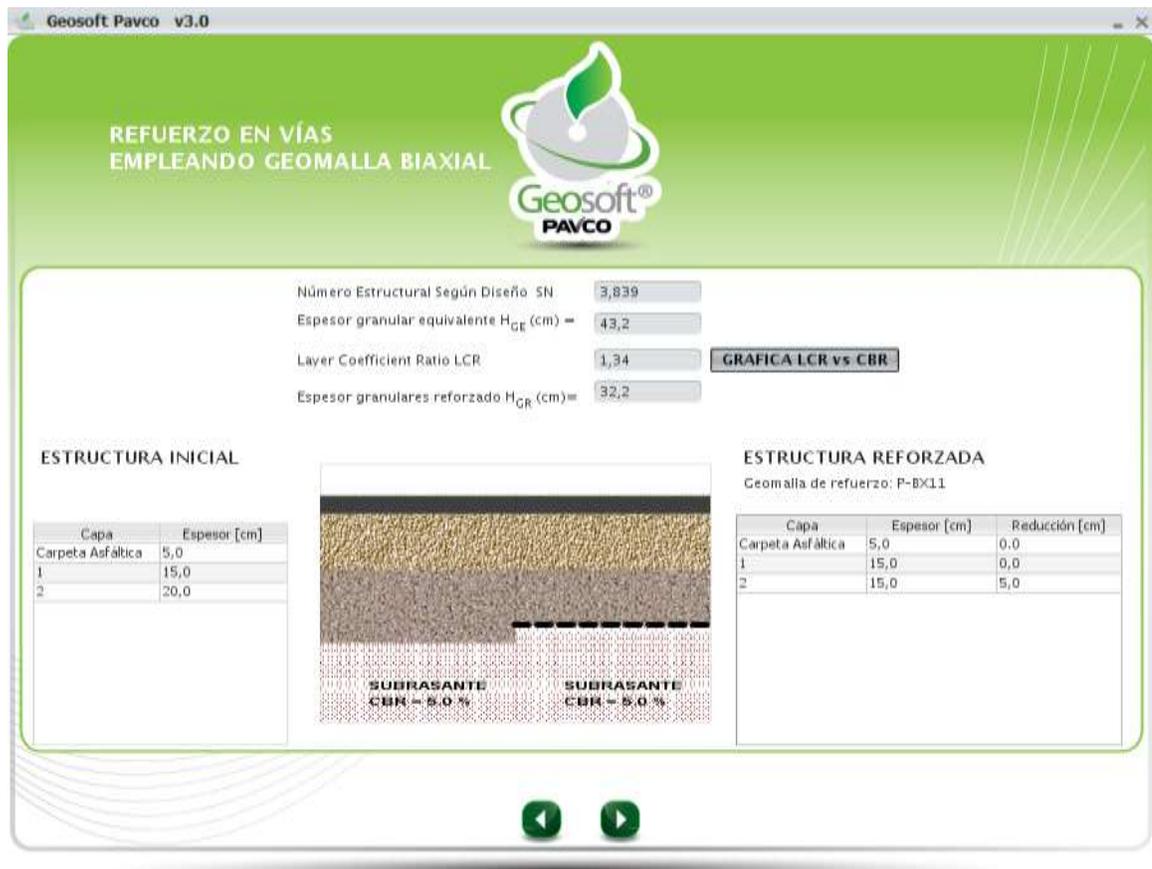
Observación CUMPLE

Fuente: Propia

Paso N° 3.-

- Aquí nos muestra el programa todos los resultados de los cálculos hechos por el programa y datos introducidos, como ser el número estructural según diseño, espesor granular equivalente y espesor granular reforzado.
- Nos muestra la gráfica de la carpeta asfáltica ya reforzada.
- Y nos muestra la estructura ya reforzada con los valores finales, donde nos indica que se reduce la capa de subbase en 5 cm con lo cual queda en un espesor final de 15 cm.

Fig. 4-22 Resultados



Fuente: Propia

Paso N° 4.-

- En este paso nos muestra la gráfica final de cómo se verá el paquete estructural del pavimento con el refuerzo ya introducido de la Geomalla biaxial coextruída tipo A P-BX11 (20 KN) y el paquete estructural sin refuerzo para que se vea la diferencia de espesor entre las estructuras.

Fig. 4-23 Gráfica de la Estructura Final con y sin Refuerzo.



Fuente: Propia

Paso N° 5.-

- Ahora generamos el reporte del análisis realizado.
- Este reporte nos muestra los datos introducidos del proyecto, los parámetros de entrada, las capas granulares con los valores indicados y nos dan los parámetros calculados y resultados obtenidos.
- También nos da el resumen de las capas granulares con la debida reducción que se hará por la implementación del material de geomalla.
- Y por último nos muestra la gráfica del paquete estructural con el refuerzo de la geomalla ya colocada entre las capas granulares.

Fig. 4-24 Reporte del Módulo Analizado

REPORTE DE REFUERZO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EMPLEANDO GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUIDA				
DATOS DEL PROYECTO				
Nombre del Proyecto:	refuerzo geomalla biaxial-tramo copacabana-yunchara			
Nombre de la Empresa:	universidad juan misael saracho			
Nombre del Diseñador:	julia aydes leon			
Cargo del Diseñador:	INVESTIGADOR			
Departamento:	tarja Ciudad: tarja			
Otra Ubicación:				
Descripción del Proyecto:				
PARAMETROS DE ENTRADA				
Espesor Carpeta Asfáltica:	5.0 cm			
Coefficiente Estructural a1:	1.0			
Tipo de Geomalla de Refuerzo:	TIPO A P-BX11 (20kN/m)			
Número de Capas Granulares:	2			
Demanda Tránsito W18:	0.0			
CBR Subrasante (%):	5.0			
Capas Granulares				
Capa	Di	Unidades Di	a1	mi
1	15.0	cm	0.17	1.0
2	20.0	cm	0.11	1.0

PARAMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS			
Número Estructural SN:	8.830		
Espesor Granular Equivalente Hge:	43.182		
Espesor Granular Reforzado Hre:	32.225		
Layer Coefficient Ratio LCR:	1.34		
Eficiencia en los Nodos Geomalla Biaxial Coextruida >= 90%:	OK		

Tipo de Capa	Espesor Inicial [cm]	Espesor Nuevo [cm]	Reducción Espesor [cm]
Carpeta Asfáltica	5.0	5.0	0.0
1	15.0	15.0	0.0
2	20.0	15.0	5.0

Notas:

- Esquemáticamente se muestra la geomalla de refuerzo a nivel de subrasante, se debe garantizar la trabazón de agregados, por lo cual se recomienda que la geomalla biaxial coextruida este entre los granulares.
- Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPR) ó (MARV) por su nombre en inglés.

Fuente: Propia

4.5.4. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo II.-

Paso N° 1:

- Lo primero que se hace en este módulo es ingresar los datos y parámetros de entrada de la capa de concreto asfáltico (espesor y coeficiente estructural), el CBR de la capa de subrasante.
- En material granular se debe poner la cantidad de capas granulares que tiene todo el paquete estructural el espesor de cada capa granular, el coeficiente estructural de cada capa granular y el coeficiente de drenaje.

- Escogemos también el tipo de geosintético que se utilizará para este análisis usaremos la geomalla de tipo A P-BX12 (30 KN/m).
- Por ultimo escogemos la opción de SI revisar el diseño inicial según la AASHTO 93.
- Una vez introducidos y elegidos todos los parámetros requeridos calculará el numero estructural (SN), como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-25 Parámetros de entrada

Geosoft Pavco v3.0

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAXIAL

Geosoft®
PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Esesor D_1 5,0 cm

Coefficiente estructural a_1 [1/pg] 1,0

REFUERZO

Tipo de Geomalla de Refuerzo
TIPO B P-BX12 (30kN/m)

MATERIAL GRANULAR

Numero de Capas Granulares 2

	CAPA	D_i	Unidades D_i	a_i	m_i
1		15,0	cm	0,17	1,0
2		20,0	cm	0,11	1,0

Número Estructural SN 3,84 **Calcular**

CBR Subrasante (%) 5,0 Desea Revisar el diseño inicial (AASHTO 93)? SI NO

Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Para este paso utilizamos un módulo resiliente de 90 Mpa = 13053,397 psi.
- Los datos de diseño de pavimentos flexibles se mantienen como datos de proyecto ya definidos, que para este tramo serán de: R=80%, So=0,35, Po=4,5, Pt=2,5.
- Para el cálculo del número estructural usaremos el número de ejes equivalentes (W18) igual a 1281,317.
- Al calcular el número estructural nos da como resultado un valor de 0,687, dicho valor cumple con la norma de la ASSHTO que analiza el programa.

Fig. 4-26 Proceso de Cálculo

Geosoft PAVCO v3.0

REFUERZO EN VÍAS EMPLEANDO GEOMALLA BIAXIAL

Geosoft® PAVCO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993

Confiabilidad R [%] 80 Módulo de la subrasante MR [psi] 13053,397

Desviación Estándar So 0,35 Tipo de Análisis Calcular Número Estructural SN

Indice de servicio Inicial Po 4,5 Calcular Número De Ejes

Indice de servicio Final Pt 2,5

$$\log_{10} \left(\frac{W_{18}}{18} \right) = Z_R \times S_o + 2,32 \times \log_{10} (SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{1004} \right]}{0,40 + \frac{1}{(SN + 1)^{2,19}}} + 2,32 \times \log_{10} (M_R) - 8,07$$

CALCULAR NÚMERO ESTRUCTURAL

Número de Ejes equivalentes (W18) 1281

Número estructural Calculado 0,687

Observación CUMPLE

Fuente: Propia

Paso N° 3.-

- Aquí nos muestra el programa todos los resultados de los cálculos hechos por el programa y datos introducidos, como ser el número estructural según diseño, espesor granular equivalente y espesor granular reforzado.
- Nos muestra la gráfica de la carpeta asfáltica ya reforzada.
- Y nos muestra la estructura ya reforzada con los valores finales, donde nos indica que se reduce la capa de subbase en 5 cm con lo cual queda en un espesor final de 15 cm.

Fig. 4-27 Resultados



Fuente: Propia

Paso N° 4.-

- En este paso nos muestra la gráfica final de cómo se verá el paquete estructural del pavimento con el refuerzo ya introducido de la Geomalla biaxial coextruida tipo A P-BX12 (30 KN) y el paquete estructural sin refuerzo para que se vea la diferencia de espesor entre las estructuras.

Fig. 4-28 Gráfica de la Estructura Final con y sin Refuerzo.



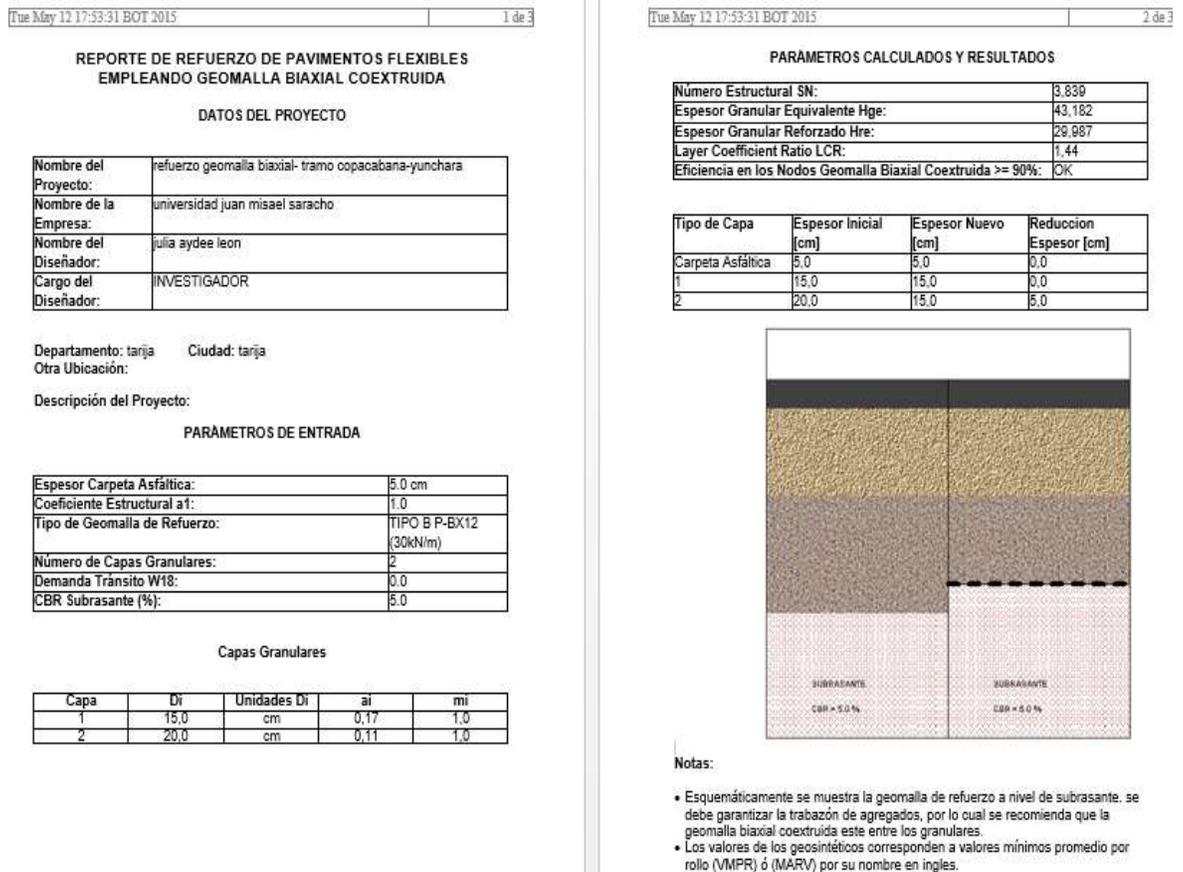
Fuente: Propia

Paso N° 5.-

- Ahora generamos el reporte del análisis realizado.
- Este reporte nos muestra los datos introducidos del proyecto, los parámetros de entrada, las capas granulares con los valores indicados y nos dan los parámetros calculados y resultados obtenidos.

- También nos da el resumen de las capas granulares con la debida reducción que se hará por la implementación del material de geomalla.
- Y por último nos muestra la gráfica del paquete estructural con el refuerzo de la geomalla ya colocada entre las capas granulares.

Fig. 4-29 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

c) Tramo 3 Carlaso - Piedra Larga:

Módulo 1:

4.5.5. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo I

Refuerzo en vías Empleando Geomalla Biaxial Triaxial:

Paso N° 1:

- Lo primero que se hace en este módulo es ingresar los datos y parámetros de entrada de la capa de concreto asfáltico (espesor y coeficiente estructural), el CBR de la capa de subrasante.
- En material granular se debe poner la cantidad de capas granulares que tiene todo el paquete estructural el espesor de cada capa granular, el coeficiente estructural de cada capa granular y el coeficiente de drenaje.
- Escogemos también el tipo de geosintético que se utilizara para este análisis: la geomalla de tipo A P-BX11 (20 KN/m).
- Por último, escogemos la opción de SI revisar el diseño inicial según la AASHTO 93.
- Una vez introducidos y elegidos todos los parámetros requeridos, calculará el numero estructural (SN), como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-30 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAIXIAL

Geosoft®
PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Espesor D_1

Coefficiente estructural a_1 [1/pg]

REFUERZO

Tipo de Geomalla de Refuerzo

MATERIAL GRANULAR

Numero de Capas Granulares

CAPA	D_i	Unidades D_i	a_i	m_i
1	20,0	cm	0,17	1,0
2	23,0	cm	0,11	1,0

Número Estructural SN

CBR Subrasante (%) Desea Revisar el diseño inicial (AASHTO 93)? SI NO

← ? →

Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Para este paso utilizamos un módulo resiliente de 90 Mpa = 13053,397 psi.
- Los datos de diseño de pavimentos flexibles se mantienen como datos de proyecto ya definidos, que para este tramo serán de: $R=85\%$, $S_o=0,45$, $P_o=4,30$, $P_t=2,5$.
- Para el cálculo del número estructural usaremos el número de ejes equivalentes (W18) igual a 1246,215.

- Al calcular el número estructural nos da como resultado un valor de 0,755, dicho valor cumple con la norma de la ASSHTO que analiza el programa.
- Como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-31 Proceso de Cálculo

Geosoft Pavco v3.0

REFUERZO EN VÍAS EMPLEANDO GEOMALLA BIAIXIAL

Geosoft® PAVCO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993

Confiabilidad R [%] Módulo de la subrasante MR [psi]

Desviación Estándar So Tipo de Análisis Calcular Número Estructural SN Calcular Número De Ejes

Índice de servicio Inicial Po

Índice de servicio Final Pt

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 0.35 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.10}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

CALCULAR NÚMERO ESTRUCTURAL

Número de Ejes equivalentes (W18)

Número estructural Calculado

Observación:

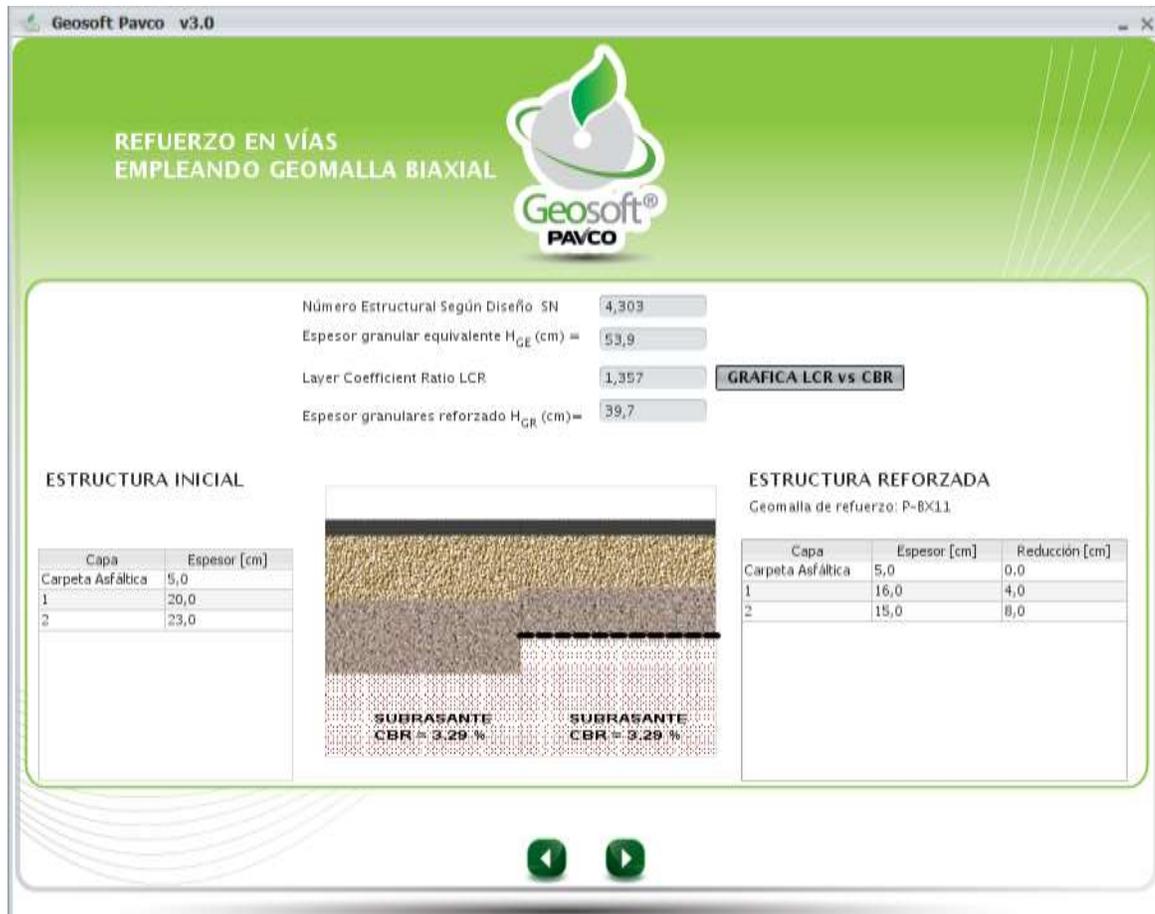
Fuente: Propia

Paso N° 3.-

- Aquí nos muestra el programa todos los resultados de los cálculos hechos por el programa y datos introducidos, como ser el número estructural según diseño, espesor granular equivalente y espesor granular reforzado.
- Nos muestra la gráfica de la carpeta asfáltica ya reforzada.

- Y nos muestra la estructura ya reforzada con los valores finales, donde nos indica que se reduce la capa de subbase en 8 cm con lo cual queda en un espesor final de 15 cm y la capa base en 4 cm quedando con un espesor de 16 cm. Como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-32 Resultados



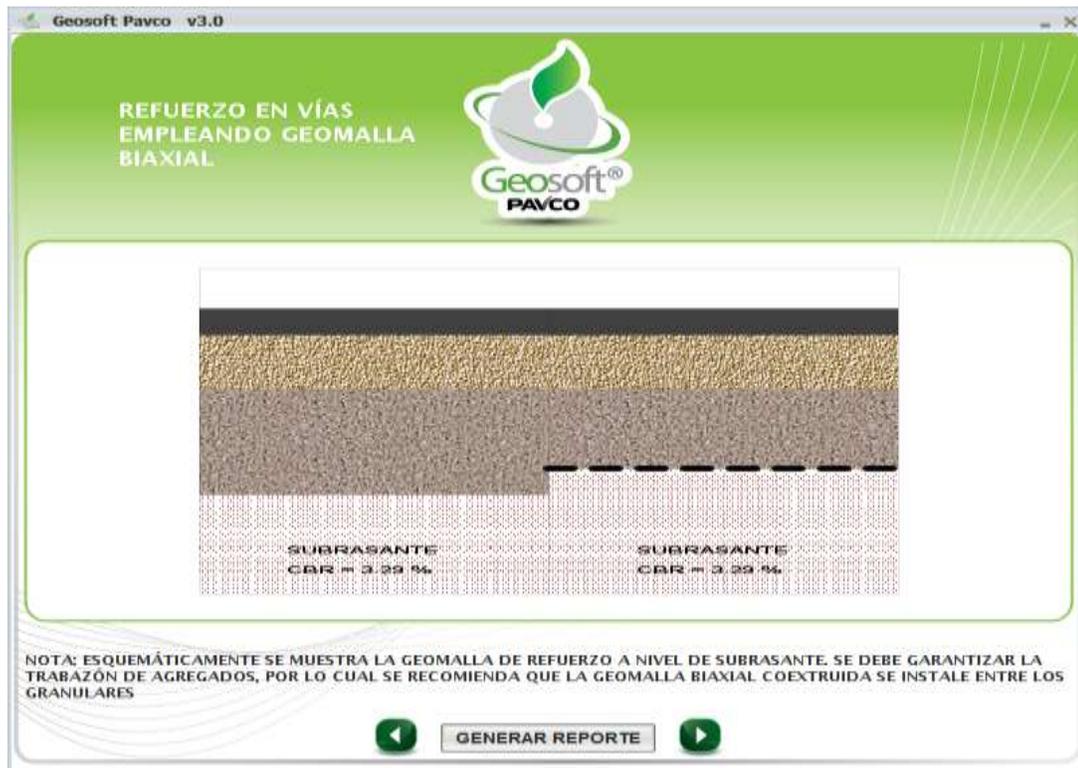
Fuente: Propia

Paso N° 4.-

- En este paso nos muestra la gráfica final de cómo se verá el paquete estructural del pavimento con el refuerzo ya introducido de la Geomalla

biaxial coextruida tipo A P-BX11 (20 KN) y el paquete estructural sin refuerzo para que se vea la diferencia de espesor entre las estructuras.

Fig. 4-33 Grafica de la Estructura Final con y sin Refuerzo.



Fuente: Propia

Paso N° 5.-

- Ahora generamos el reporte del análisis realizado.
- Este reporte nos muestra los datos introducidos del proyecto, los parámetros de entrada, las capas granulares con los valores indicados y nos dan los parámetros calculados y resultados obtenidos.
- También nos da el resumen de las capas granulares con la debida reducción que se hará por la implementación del material de geomalla.
- Y por último nos muestra la gráfica del paquete estructural con el refuerzo de la geomalla ya colocada entre las capas granulares.

Fig. 4-34 Reporte del Módulo Analizado

REPORTE DE REFUERZO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EMPLEANDO GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUIDA				
DATOS DEL PROYECTO				
Nombre del Proyecto:	separación de capas granulares con material geosintético			
Nombre de la Empresa:	universidad Juan Misael saracho			
Nombre del Diseñador:	león julia aydee			
Cargo del Diseñador:	investigador			
País: ARGENTINA Departamento: Tarja Ciudad: Tarja				
Otra Ubicación:				
Descripción del Proyecto:				
PARÁMETROS DE ENTRADA				
Espeor Carpeta Asfáltica:	5.0 cm			
Coefficiente Estructural a1:	1.0			
Tipo de Geomalla de Refuerzo:	TIPO A P-BX11 (20KN/m)			
Número de Capas Granulares:	2			
Demanda Tránsito W18:	0.0			
CBR Subrasante (%):	3.29			
Capas Granulares				
Capa	DI	Unidades DI	a1	mi
1	20.0	cm	0.17	1.0
2	23.0	cm	0.11	1.0

PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS			
Número Estructural SN:	4,303		
Espeor Granular Equivalente Hga:	53,909		
Espeor Granular Reforzado Hra:	39,724		
Layer Coefficient Ratio LCR:	1,357		
Eficiencia en los Nodos Geomalla Biaxial Coextruida >= 50%:	OK		

Tipo de Capa	Espeor Inicial [cm]	Espeor Nuevo [cm]	Reducción Espeor [cm]
Carpeta Asfáltica	5.0	5.0	0.0
1	20.0	16.0	4.0
2	23.0	15.0	8.0

Diagrama esquemático de un corte transversal de un pavimento flexible reforzado con geomalla. Muestra una carpeta asfáltica superior, dos capas granulares y una subrasante inferior. La geomalla se encuentra entre las capas granulares. Se indican los espesores de cada capa y el coeficiente de drenaje (CD) de la geomalla.

Notas:

- Esquemáticamente se muestra la geomalla de refuerzo a nivel de subrasante, se debe garantizar la trabazón de agregados, por lo cual se recomienda que la geomalla biaxial coextruida este entre los granulares.
- Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPR) o (MARV) por su nombre en inglés.

Fuente: Propia

4.5.6. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo II.-

Paso N° 1:

- Lo primero que se hace en este módulo es ingresar los datos y parámetros de entrada de la capa de concreto asfáltico (espeor y coeficiente estructural), el CBR de la capa de subrasante.
- En material granular se debe poner la cantidad de capas granulares que tiene todo el paquete estructural el espeor de cada capa granular, el coeficiente estructural de cada capa granular y el coeficiente de drenaje.
- Escogemos también el tipo de geosintético que se utilizará para este análisis usaremos la geomalla de tipo A P-BX12 (30 KN/m).

- Por ultimo escogemos la opción de SI revisar el diseño inicial según la AASHTO 93.
- Una vez introducidos y elegidos todos los parámetros requeridos calculará el numero estructural (SN), como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-35 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

REFUERZO EN VÍAS
EMPLEANDO GEOMALLA BIAIXIAL

Geosoft®
PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

Espesor D_1

Coefficiente estructural a_1 [1/pg]

REFUERZO

Tipo de Geomalla de Refuerzo

MATERIAL GRANULAR

Numero de Capas Granulares

CAPA	Di	Unidades Di	ai	mi
1	20,0	cm	0,17	1,0
2	23,0	cm	0,11	1,0

Número Estructural SN

CBR Subrasante (%) Desea Revisar el diseño inicial (AASHTO 93)? SI NO

◀ ? ▶

Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Para este paso utilizamos un módulo resiliente de 90 Mpa = 13053,397 psi.
- Los datos de diseño de pavimentos flexibles se mantienen como datos de proyecto ya definidos, que para este tramo serán de: R=85%, So=0,45, Po=4,30, Pt=2,5.
- Para el cálculo del número estructural usaremos el número de ejes equivalentes (W18) igual a 1246,215.
- Al calcular el número estructural nos da como resultado un valor de 0,80, dicho valor cumple con la norma de la ASSHTO que analiza el programa.

Fig. 4-36 Proceso de Cálculo

Geosoft PAVCO v3.0

REFUERZO EN VÍAS EMPLEANDO GEOMALLA BIAIXIAL

Geosoft® PAVCO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES - AASHTO 1993

Confiabilidad R [%] 85 Módulo de la subrasante MR [psi] 13053,397

Desviación Estándar So 0,45 Tipo de Análisis Calcular Número Estructural SN

Índice de servicio Inicial Po 4,3 Calcular Número De Ejes

Índice de servicio Final Pt 2,5

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

CALCULAR NÚMERO ESTRUCTURAL

Número de Ejes equivalentes (W18) 1246

Número estructural Calculado 0,755

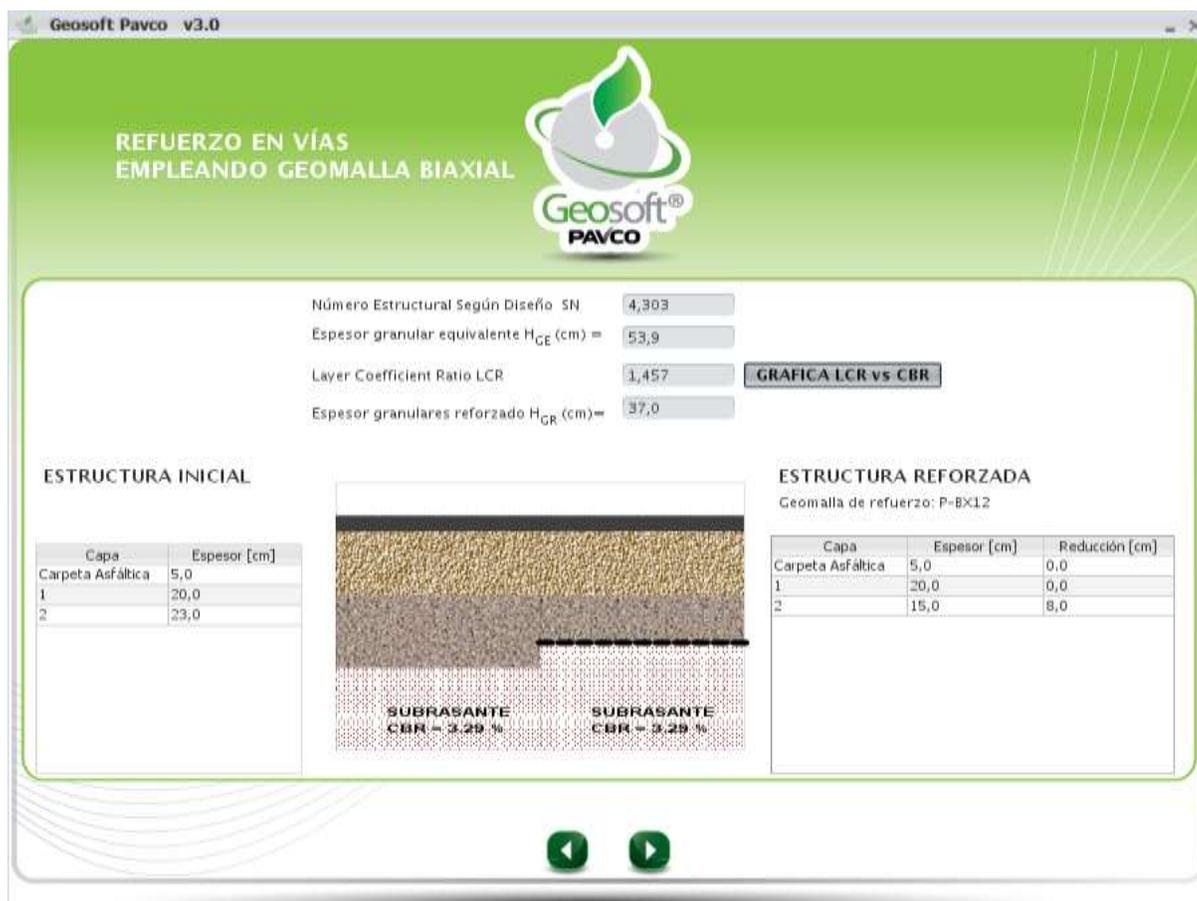
Observación CUMPLE

Fuente: Propia

Paso N° 3.-

- Aquí nos muestra el programa todos los resultados de los cálculos hechos por el programa y datos introducidos, como ser el número estructural según diseño, espesor granular equivalente y espesor granular reforzado.
- Nos muestra la gráfica de la carpeta asfáltica ya reforzada.
- Y nos muestra la estructura ya reforzada con los valores finales, donde nos indica que se reduce la capa de subbase en 5 cm con lo cual queda en un espesor final de 15 cm.

Fig. 4-37 Resultados



Fuente: Propia

Paso N° 4.-

- En este paso nos muestra la gráfica final de cómo se verá el paquete estructural del pavimento con el refuerzo ya introducido de la Geomalla biaxial coextruída tipo A P-BX12 (30 KN) y el paquete estructural sin refuerzo para que se vea la diferencia de espesor entre las estructuras.

Fig. 4-38 Grafica de la Estructura Final con y sin Refuerzo.



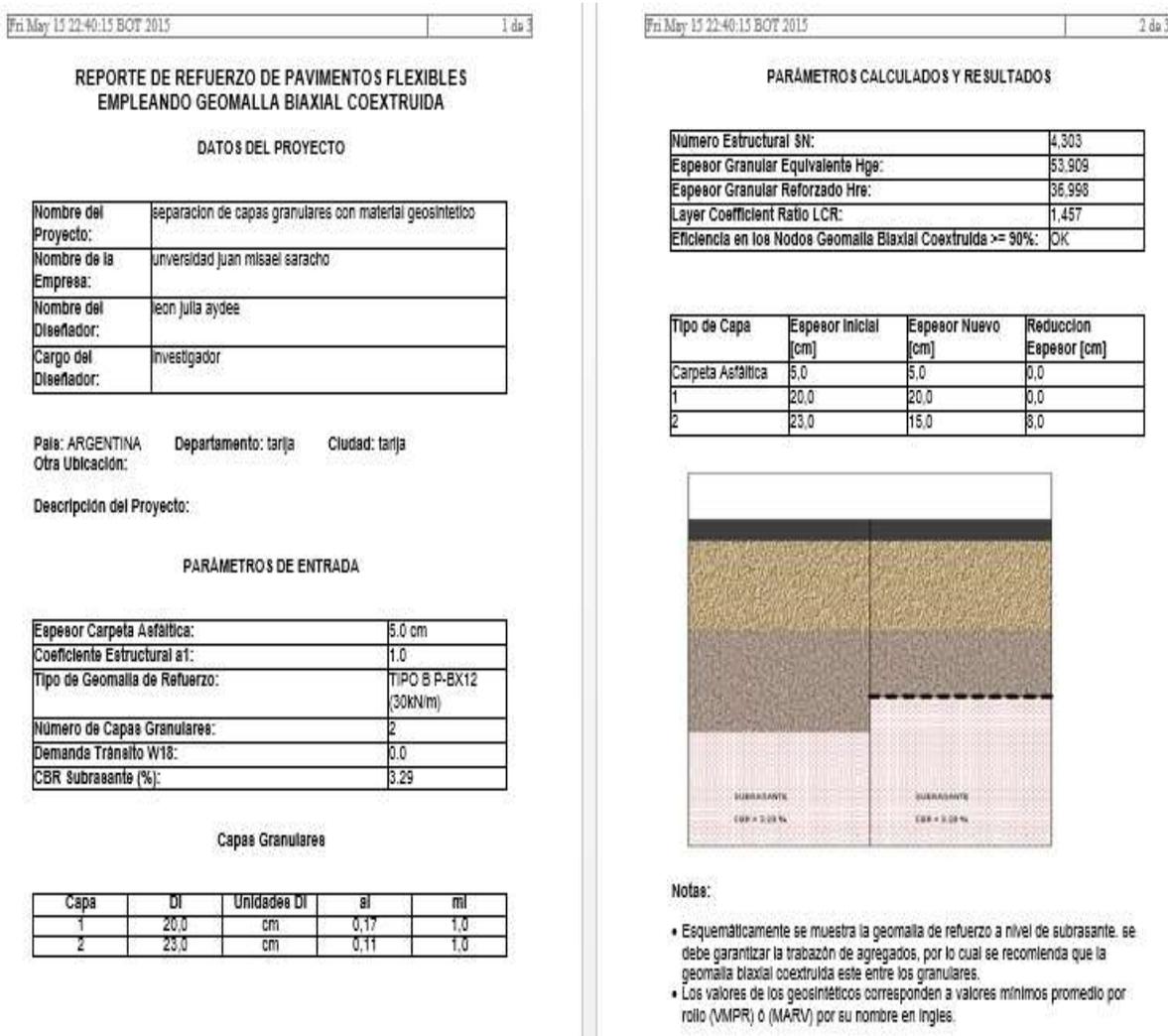
Fuente: Propia

Paso N° 5.-

- Ahora generamos el reporte del análisis realizado.
- Este reporte nos muestra los datos introducidos del proyecto, los parámetros de entrada, las capas granulares con los valores indicados y nos dan los parámetros calculados y resultados obtenidos.

- También nos da el resumen de las capas granulares con la debida reducción que se hará por la implementación del material de geomalla.
- Y por último nos muestra la gráfica del paquete estructural con el refuerzo de la geomalla ya colocada entre las capas granulares.

Fig. 4-39 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

a) Tramo Quebrada - Las Vacas Salinas

Módulo 2:

Estabilización de Subrasantes con Material Geosintéticos.-

4.5.7. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo I.-

Paso N°1:

- Lo que se hace primeramente es introducir los datos del proyecto y del encargado del proyecto o del diseño que se quiere analizar cada parámetro de entrada están explicados en el capítulo anterior (parámetros de entradas).
- Seguidamente tenemos como parámetros de entrada el tráfico (carga por eje (kn), presión de inflado (kn), número de repeticiones y ahuellamiento máximo permitido (mm)). Los valores de estos datos están explicados en su totalidad en el anterior punto de parámetros de entrada.
- Ahora se escoge el tipo de Geosintético de refuerzo que queremos trabajar, para nuestro análisis utilizaremos el Geotextil Tejido.
- También tenemos propiedades del suelo de fundación y relleno como ser el CBR del material granular con un valor de 50,62% y un CBR del material de subrasante de 3,39%, se escoge si queremos o no incluir un módulo resiliente de subrasante, en este caso escogimos que no.

Fig. 4-40 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft PAVCO

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 451,612 psi

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-BX11

Geomalla Pavco P-BX12

Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 50,62

CBR Subrasante (%): 3,39

Incluir Módulo Subrasante: Sí No

Módulo Subrasante: 35,086 MPa

CARGA POR EJE=2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

Navigation buttons: Back, Help, Forward

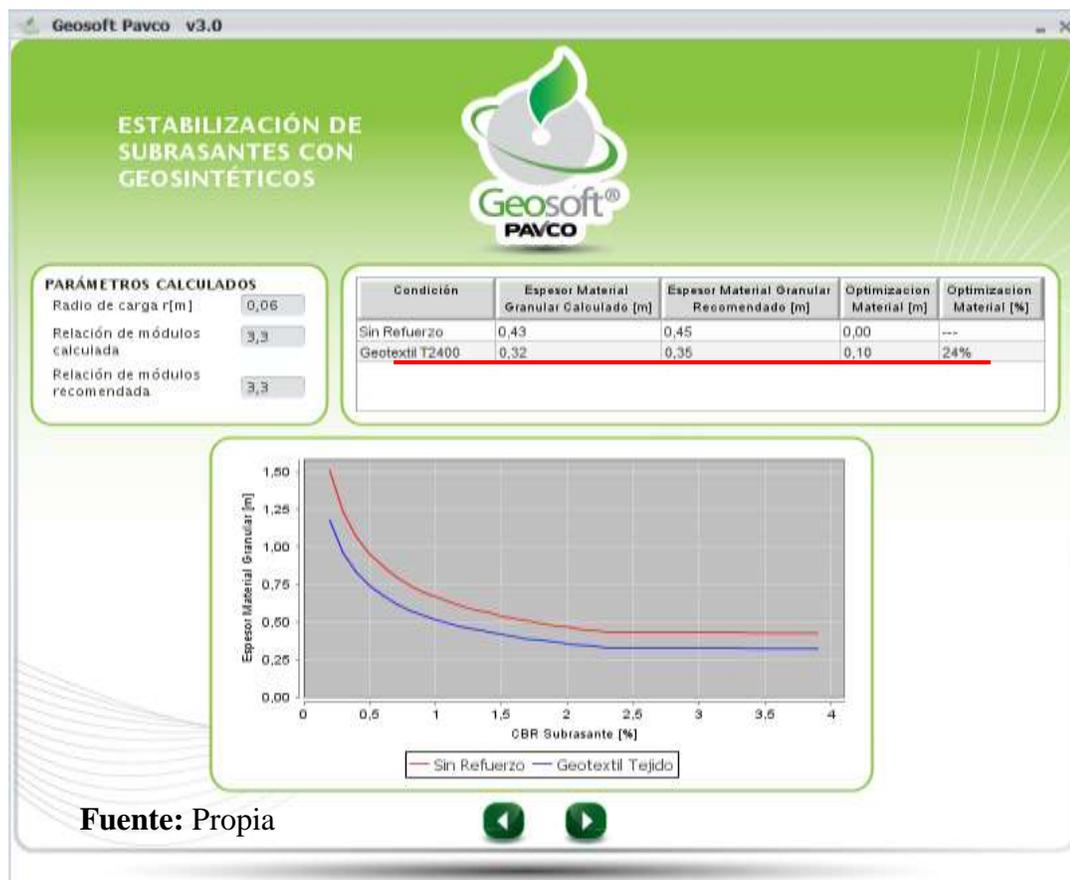
Fuente: Propia

Paso N°2:

- En este paso nos muestra todos los parámetros ya calculados con los valores introducidos anteriormente.
- Estos resultados son el radio de carga (m), la relación de módulos calculada, relación de módulo recomendada.
- También nos presenta una tabla donde nos muestra la condición del pavimento con y sin refuerzo de material geosintético.

- Nos muestra el análisis que se hace y la diferencia de valores obtenidos con el refuerzo, es decir, en este caso nos muestra que el espesor de capa granular del material se reduce casi en un 50% usando el material geotextil. Nos da también un valor recomendado del espesor del material granular en metros.
- Nos presenta también la optimización del material tanto en metros como en porcentaje, con lo cual podemos verificar cuál es la diferencia del espesor de la capa de pavimento y su optimización al usar el material geotextil.
- También nos muestra la gráfica de la curva espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%), donde nos muestra la curva de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, con lo que se comprueba como disminuyen los valores de la curva cuando se utiliza el material geotextil.

Fig. 4-41 Proceso de Cálculo



Paso N° 3.-

- En este paso lo que nos muestra es más o menos un resumen de los valores obtenidos con material geotextil y sin el uso de refuerzo.
- También nos presenta la comparación de la carpeta asfáltica por completo, antes de usar refuerzo y con el material geotextil de refuerzo.
- En qué lugar será colocado el geotextil y cuánto será la reducción de las capas así como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-42 Resultados

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft[®] PAVCO

TIPO DE REFUERZO	Sin Refuerzo	Geotextil T2400
ESPEJOR MATERIAL GRANULAR	0,45	0,35
OPTIMIZACIÓN DE GRANULARES	---	24%

CBR 3,4 % CBR 3,4 %

Geotextil de separación: En el caso del refuerzo con geomallas es necesario adicionalmente incluir un geotextil como elemento de separación.

DISEÑAR GEOTEXTIL SEPARACIÓN

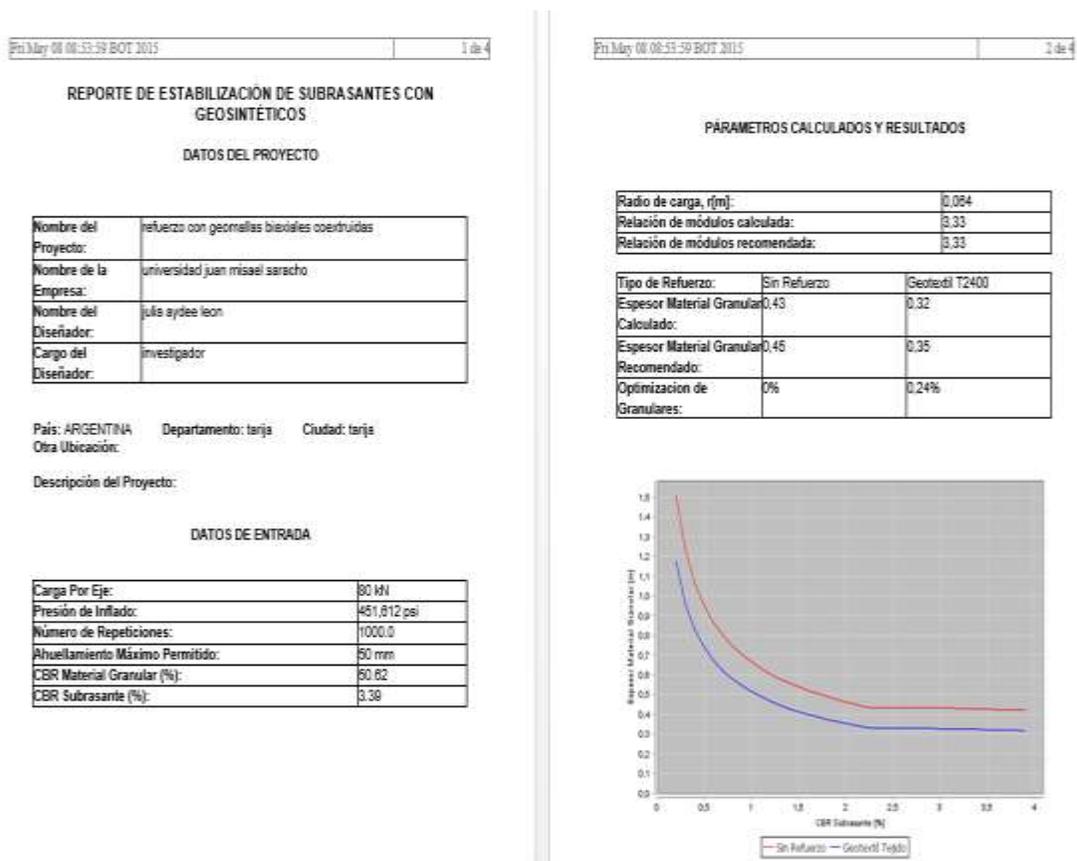
GENERAR REPORTE

Fuente: Propia

Paso N° 4:

- En este paso generamos el reporte de todo el análisis realizado anteriormente con el geotextil.
- Este reporte nos presenta todos los datos introducidos, parámetros de entrada, los parámetros calculados y los resultados obtenidos de tal análisis, cuanto fue la reducción de la carpeta asfáltica, cuanto fue la optimización en porcentaje del uso de material geotextil en dicho tramo.
- Todo se muestra en las siguientes figuras:

Fig. 4-43 Reporte del Módulo Analizado



Sin Refuerzo

Tipo de Refuerzo:	Sin Refuerzo
Espesor Material Granular:	0.45
Optimizacion de Granulares:	0%

Geotextil T2400

Tipo de Refuerzo:	Geotextil T2400
Espesor Material Granular:	0.35
Optimizacion de Granulares:	0.24%

ADVERTENCIA

Esta herramienta de cálculo es un complemento al Manual de Diseño. El usuario debe conocer las ecuaciones, su aplicabilidad y limitaciones. Esta herramienta de cálculo no debe ser usada en reemplazo de un ingeniero diseñador.

La información contenida aquí no puede ser garantizada ya que las condiciones del usuario están mas allá de nuestro control. El usuario de esta herramienta asume todos los riesgos asociados con su uso.

A pesar de que todos los esfuerzos han sido hechos para verificar su funcionamiento y resultados, GEOSISTEMAS-PAVCO no se hace responsable por cualquier error en los cálculos obtenidos con esta herramienta. Datos asumidos o valores entrados erróneos pueden dar soluciones incorrectas.

Fuente: Propia

4.5.8. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo II.-

Paso N° 1:

- Lo que se hará ahora en este módulo es analizar con los mismos datos ya usados pero cambiando el tipo de Geotextil. En este caso se utilizará la Geomalla Pavco P-BX11.
- Se mantendrán los datos de tráfico, y propiedades del suelo de fundación y relleno.

Fig. 4-44 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 451,612 psi

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-8X11

Geomalla Pavco P-8X12

Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 50,62

CBR Subrasante (%): 3,39

Incluir Módulo Subrasante: Sí No

Módulo Subrasante: 35,086 MPa

CARGA POR EJE=2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

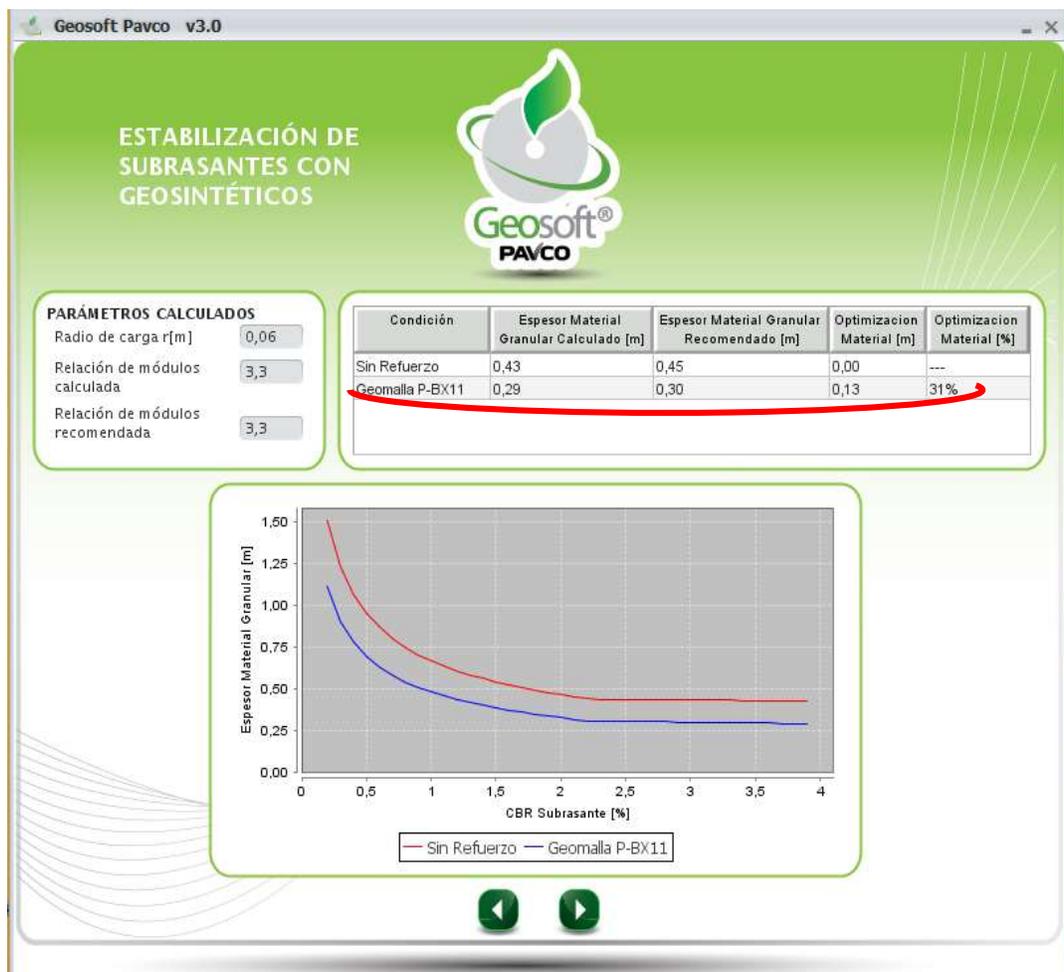
Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Ahora nos muestra los parámetros ya calculados como ser: radio de carga (m), relación de módulos calculada y relación de modelos recomendada.
- También nos muestra una tabla donde se presenta la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, comparando los valores del espesor de la carpeta asfáltica y el espesor del material granular recomendado usando el material geosintético como refuerzo, en este caso la geomalla tipo P-BX11.

- Nos presenta también la optimización del material que se obtuvo con el uso de la geomalla, en este caso se optimizó en un 31%, y una reducción de espesor de la capa de 0,43 m a 0,29 m.
- Además nos presenta una gráfica de comparación de espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%) de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.

Fig. 4-45 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N° 3:

- En este último paso, el programa nos presenta todos los resultados obtenidos de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.
- También nos presenta unas gráficas de comparación de cómo se verá la carpeta asfáltica una vez puesta en obra y dónde se tiene que colocar el material geosintético de refuerzo, en este caso la Geomalla tipo P-BX11.

Fig. 4-46 Resultados

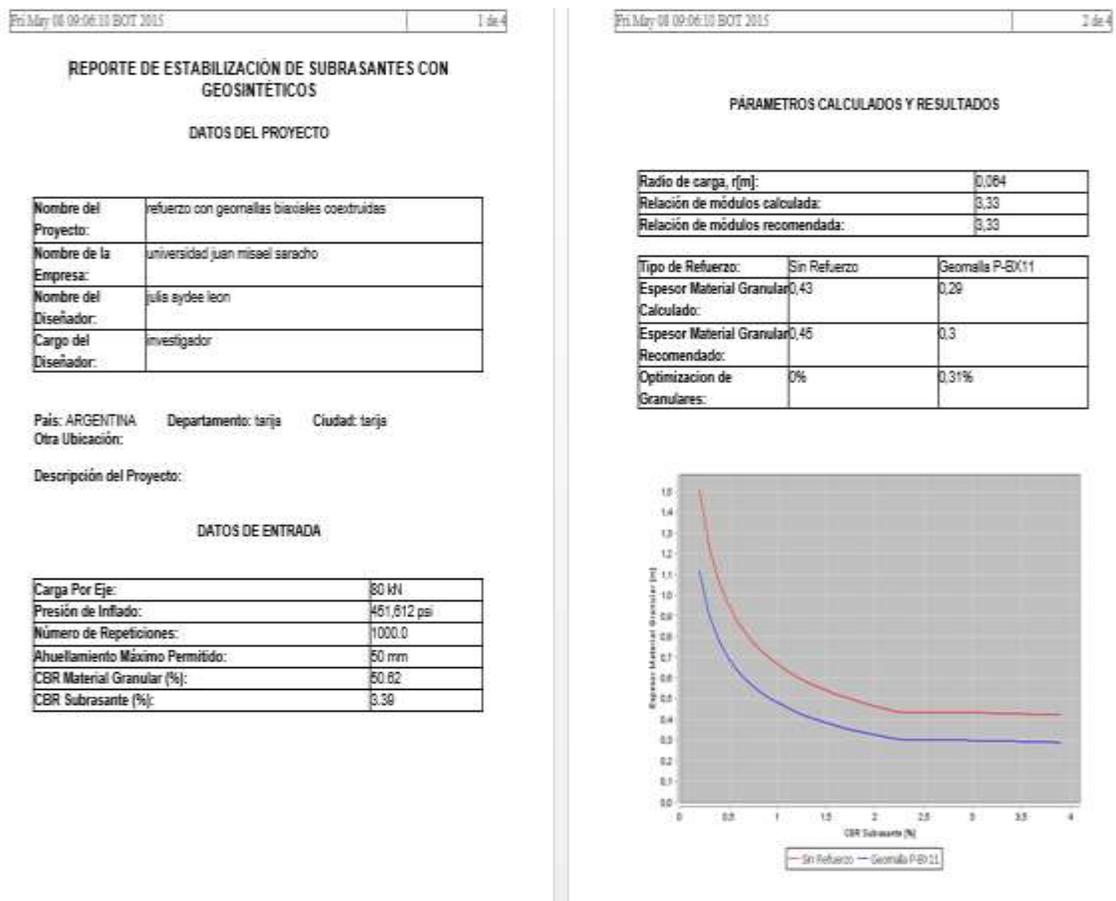
Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Por último como en anteriores módulos generamos el reporte de todo el trabajo y análisis realizado.

- Dicho reporte nos presenta los datos del proyecto, todos los datos de entrada que se requieren para el uso del módulo.
- También nos presenta de manera resumida los parámetros calculados y los resultados, además de la comparación que se hace de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo de la geomalla.
- En este reporte también nos presenta la gráfica que se realizó analizando el espesor del material granular en (m) vs el CBR de la subrasante en (%).

Fig. 4-47 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

4.5.9. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo III

Paso N° 1:

- Lo que se hará ahora en este módulo es analizar con los mismos datos ya usados pero cambiando el tipo de Geotextil. En este caso se utilizará la Geomalla Pavco P-BX12.
- Se mantendrá los datos de tráfico, propiedades del suelo de fundación y relleno.

Fig. 4-48 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft® PAVCO

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 451,612 psi

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-BX11

Geomalla Pavco P-BX12

Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 50,62

CBR Subrasante (%): 3,39

Incluir Módulo Subrasante: Si No

Módulo Subrasante: 35,086 MPa

CARGA POR EJE = 2P

MATERIAL GRANULAR

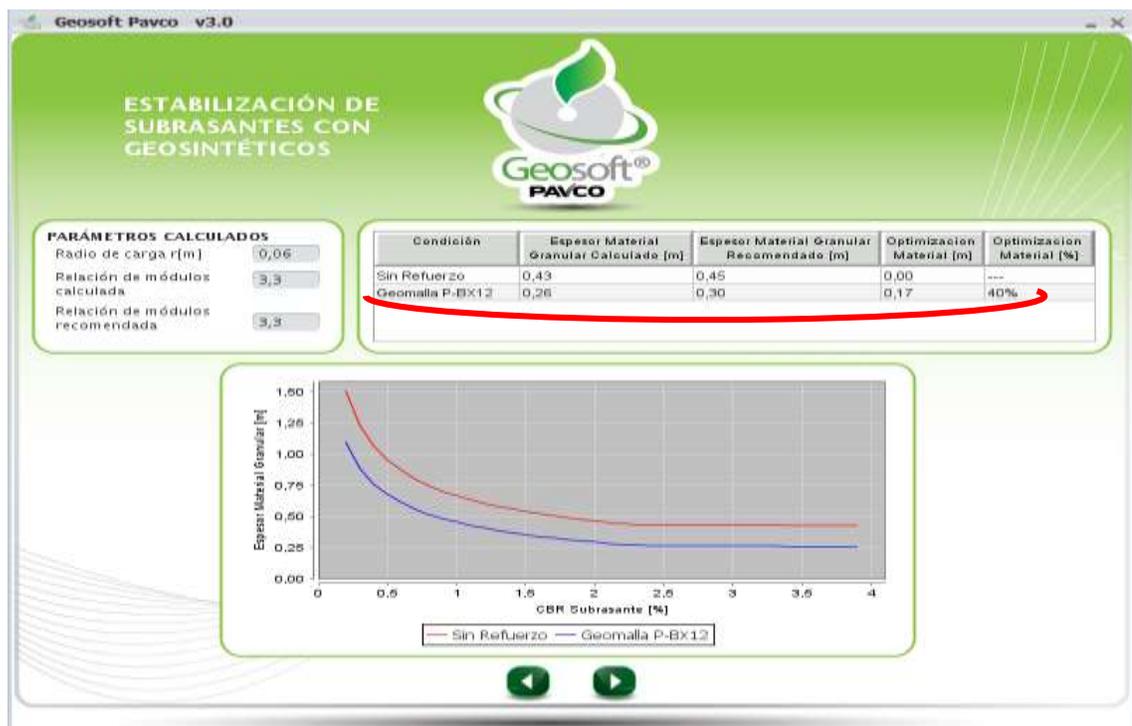
GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Ahora nos muestra los parámetros ya calculados como ser: radio de carga (m), relación de módulos calculada y relación de modelos recomendada.
- También nos muestra una tabla donde se presenta la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, comparando los valores del espesor de la carpeta asfáltica y el espesor del material granular recomendado usando el material geosintético como refuerzo, en este caso la geomalla tipo P-BX11.
- Nos presenta también la optimización del material que se obtuvo con el uso de la geomalla, en este caso se optimizó en un 40%, y una reducción de espesor de la capa de 0,43 m a 0,30 m con el material de refuerzo de la geomalla tipo P-BX12, con la optimización del material de 0,17 m.
- Además nos presenta una gráfica de comparación de espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%) de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.

Fig. 4-49 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N° 3:

- En este último paso el programa nos presenta todos los resultados obtenidos de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo. La reducción que se presenta en el espesor del material granular de 0.25 sin refuerzo a 0.05 con refuerzo geosintético de la geomalla tipo P-BX12.
- También nos presenta unas gráficas de comparación de cómo se verá la carpeta asfáltica una vez puesta en obra y dónde se tiene que colocar el material geosintético de refuerzo, en este caso la Geomalla tipo P-BX11.

Fig. 4-50 Resultados

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft[®] PAVCO

TIPO DE REFUERZO	Sin Refuerzo	Geomalla P-BX12
ESPESOR MATERIAL GRANULAR	0,45	0,30
OPTIMIZACIÓN DE GRANULARES	---	40%

CBR 3,4 %

CBR 3,4 %

Geotextil de separación: En el caso del refuerzo con geomallas es necesario adicionalmente incluir un geotextil como elemento de separación.

DISEÑAR GEOTEXTIL SEPARACIÓN

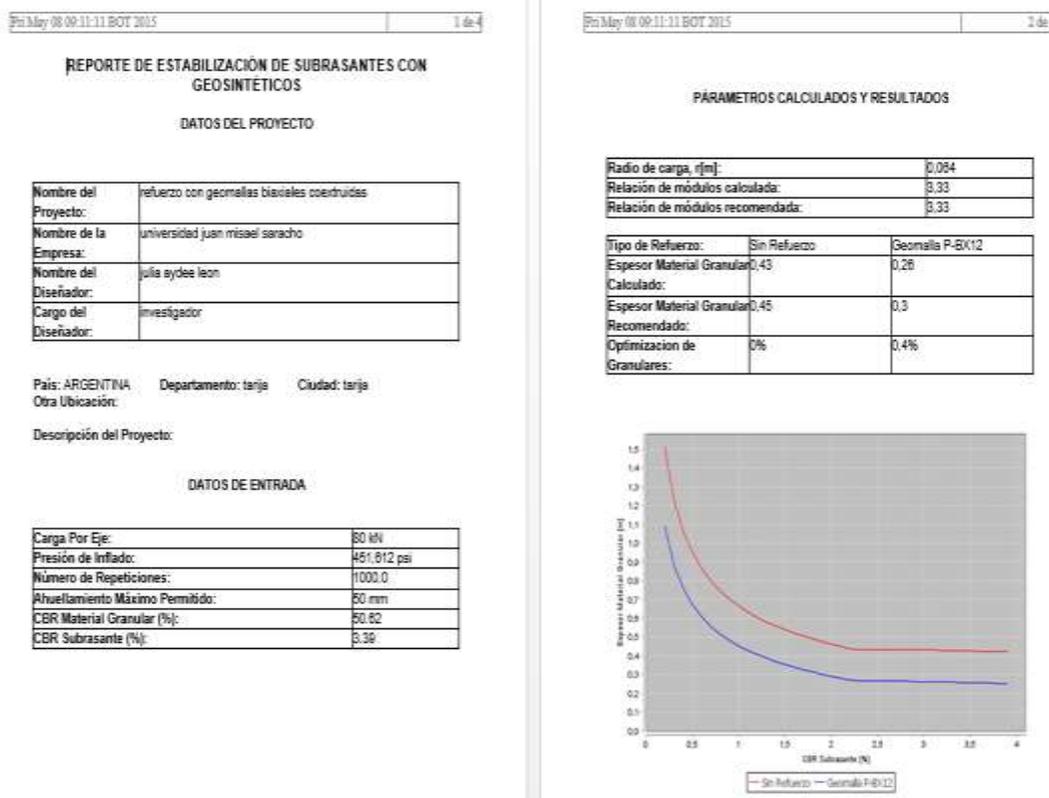
GENERAR REPORTE

Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Por último como en anteriores módulos generamos el reporte de todo el trabajo y análisis realizado.
- Dicho reporte nos presenta los datos del proyecto, todos los datos de entrada que se requieren para el uso del módulo.
- También nos presenta de manera resumida los parámetros calculados y los resultados, además de la comparación que se hace de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo de la geomalla.
- En este reporte también nos presenta la gráfica que se realizó analizando el espesor del material granular en (m) vs el CBR de la subrasante en (%).

Fig. 4-51 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

b) Tramo Copacabana – Yunchará:**Módulo 2:****Estabilización de Subrasantes con Material Geosintéticos.-****4.5.10. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo I.-****Paso N°1:**

- Lo que se hace primeramente es introducir los datos del proyecto y del encargado del proyecto o del diseño que se quiere analizar cada parámetro de entrada están explicados en el capítulo anterior (parámetros de entradas).
- Seguidamente tenemos como parámetros de entrada el tráfico (carga por eje (kn), presión de inflado (psi), número de repeticiones y ahuellamiento máximo permitido (mm)). Los valores de estos datos están explicados en su totalidad en el anterior punto de parámetros de entrada.
- Ahora se escoge el tipo de Geosintético de refuerzo que queremos trabajar, para nuestro primer análisis utilizaremos el Geotextil Tejido.
- También tenemos propiedades del suelo de fundación y relleno como ser el CBR del material granular con un valor de 66% y un CBR del material de subrasante de 5%, se escoge si queremos o no incluir un módulo resiliente de subrasante; en este caso pusimos que no, así como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-52 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft® PAVCO

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 451,612 psi

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-BX11

Geomalla Pavco P-8X12

Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 66,0

CBR Subrasante (%): 5,0

Incluir Módulo Subrasante: Si No

Módulo Subrasante: 0 MPa

CARGA POR EJE = 2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

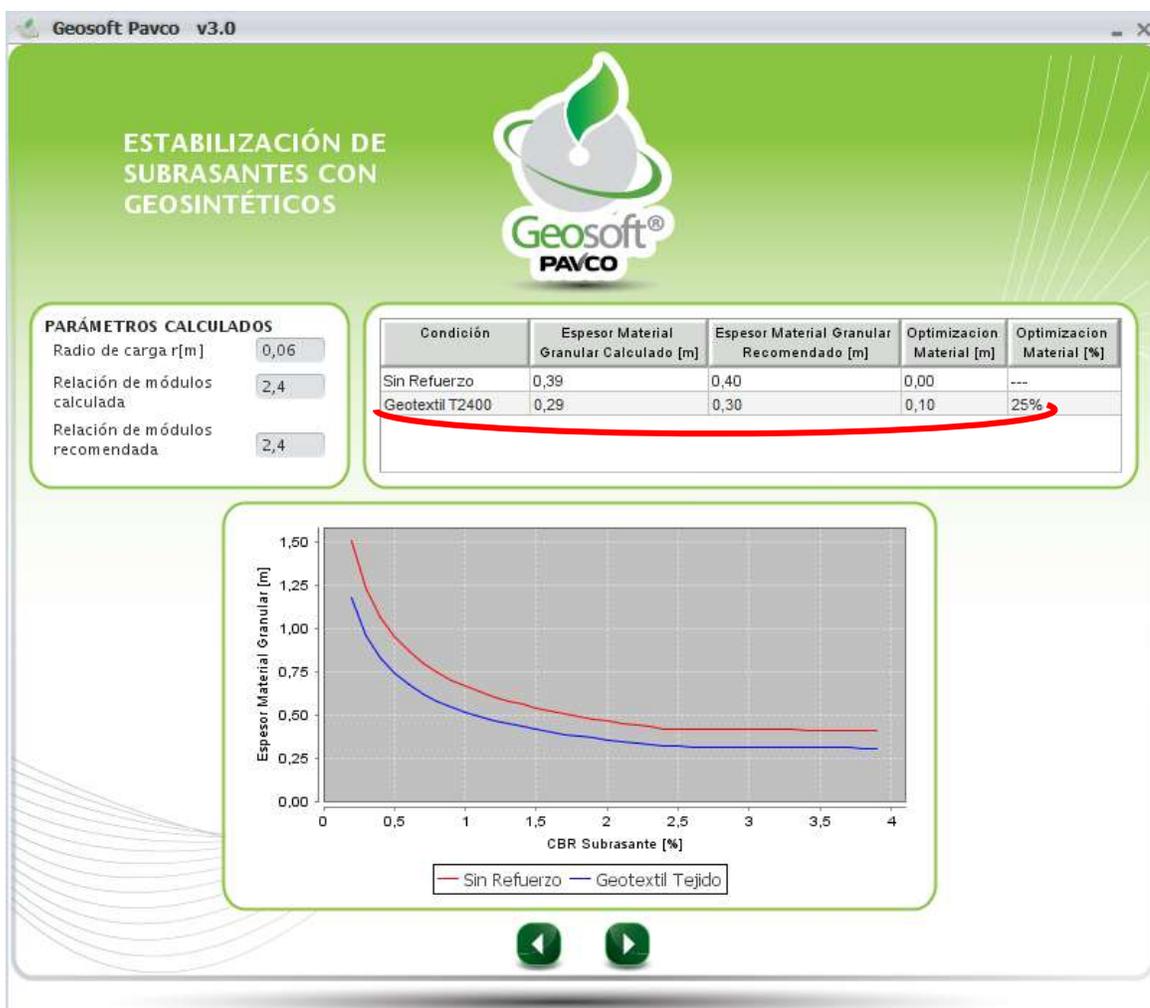
Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Ahora nos muestra los parámetros ya calculados como ser: radio de carga (m), relación de módulos calculada y relación de modelos recomendada.
- También nos muestra una tabla donde se presenta la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, comparando los valores del espesor de la carpeta asfáltica y el espesor del material granular recomendado usando el material geosintético como refuerzo, en este caso el geotextil tejido.

- Nos presenta también la optimización del material que se obtuvo con el uso del geotextil, en este caso se optimizó en un 25%, y una reducción de espesor de la capa de 0,39 m a 0,30 m con el material de refuerzo del geotextil T2400, con una optimización del material de 0,10 m.
- Además nos presenta una gráfica de comparación de espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%) de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.

Fig. 4-53 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N° 3:

- En este último paso el programa nos presenta todos los resultados obtenidos de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo. La reducción que se presenta en el espesor del material granular de 0.40 sin refuerzo a 0.30 con refuerzo geosintético del geotextil tejido T2400.
- También nos presenta unas gráficas de comparación de cómo se verá la carpeta asfáltica una vez puesta en obra y donde se tiene que colocar el material geosintético de refuerzo, en este caso del geotextil tejido T2400.

Fig. 4-54 Resultados

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft PAVCO

TIPO DE REFUERZO	Sin Refuerzo	Geotextil T2400
ESPEJOR MATERIAL GRANULAR	0,40	0,30
OPTIMIZACIÓN DE GRANULARES	---	25%

CBR 5,0 %

CBR 5,0 %

Geotextil de separación: En el caso del refuerzo con geomallas es necesario adicionalmente incluir un geotextil como elemento de separación.

DISEÑAR GEOTEXTIL SEPARACIÓN

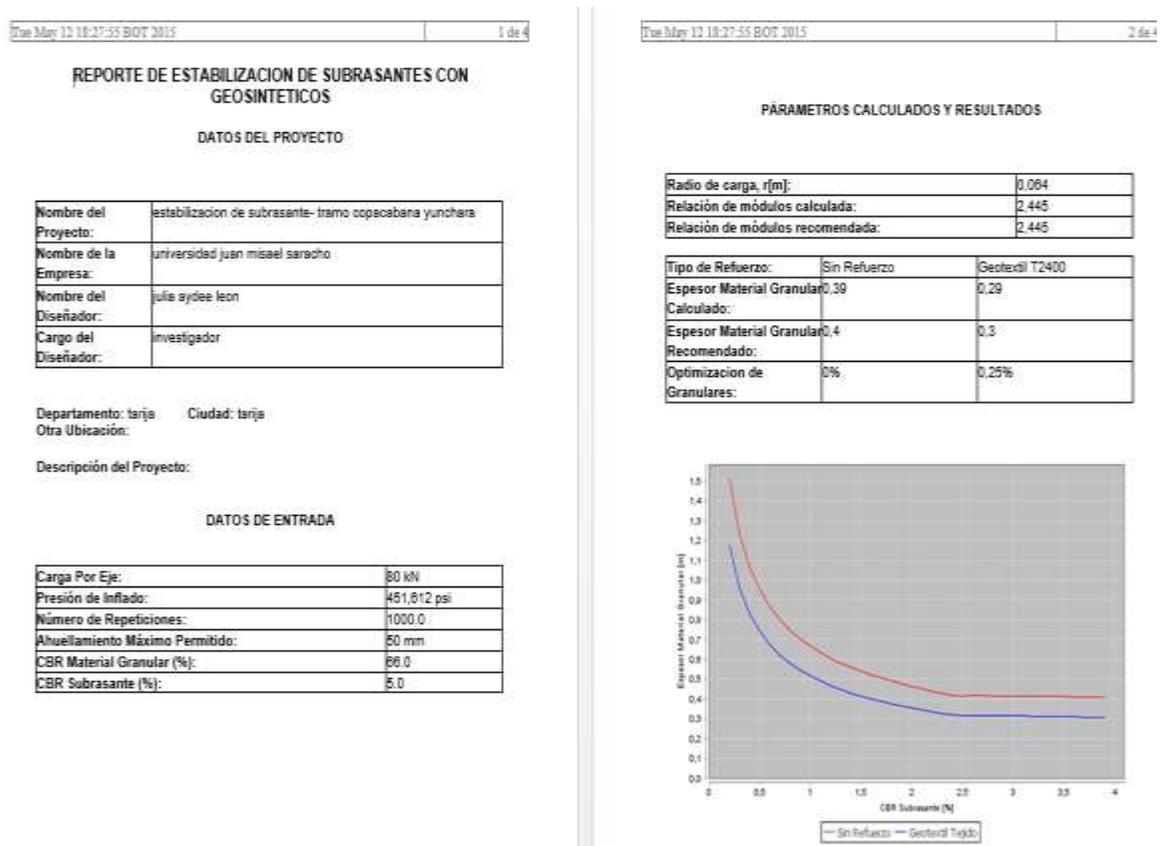
GENERAR REPORTE

Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Por último, como en anteriores módulos generamos el reporte de todo el trabajo y análisis realizado.
- Dicho reporte nos presenta los datos del proyecto, todos los datos de entrada que se requieren para el uso del módulo.
- También nos presenta de manera resumida los parámetros calculados y los resultados, además de la comparación que se hace de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo del geotextil tejido T2400.
- En este reporte también nos presenta la gráfica que se realizó analizando el espesor del material granular en (m) vs el CBR de la subrasante en (%).

Fig. 4-55 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

4.5.11. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo II.-

Paso N°1:

- Lo que se hace primeramente es introducir los datos del proyecto y del encargado del proyecto o del diseño que se quiere analizar cada parámetro de entrada están explicados en el capítulo anterior (parámetros de entradas).
- Seguidamente tenemos como parámetros de entrada el tráfico (carga por eje (kn), presión de inflado (psi), numero de repeticiones y ahuellamiento máximo permitido (mm)). Los valores de estos datos están explicados en su totalidad en el anterior punto de parámetros de entrada.
- Ahora se escoge el tipo de Geosintético de refuerzo que queremos trabajar, para nuestro primer análisis utilizaremos la Geomalla de tipo P-BX11 (20 KN).
- También tenemos propiedades del suelo de fundación y relleno como ser el CBR del material granular con un valor de 66% y un CBR del material de subrasante de 5%, se escoge si queremos o no incluir un módulo resiliente de subrasante, en este caso pusimos que no, así como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-56 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft® PAVCO

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 451,612 psi

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-BX11

Geomalla Pavco P-BX12

Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 66,0

CBR Subrasante (%): 5,0

Incluir Módulo Subrasante: Sí No

Módulo Subrasante: 0 MPa

CARGA POR EJE=2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

Fuente: Propia

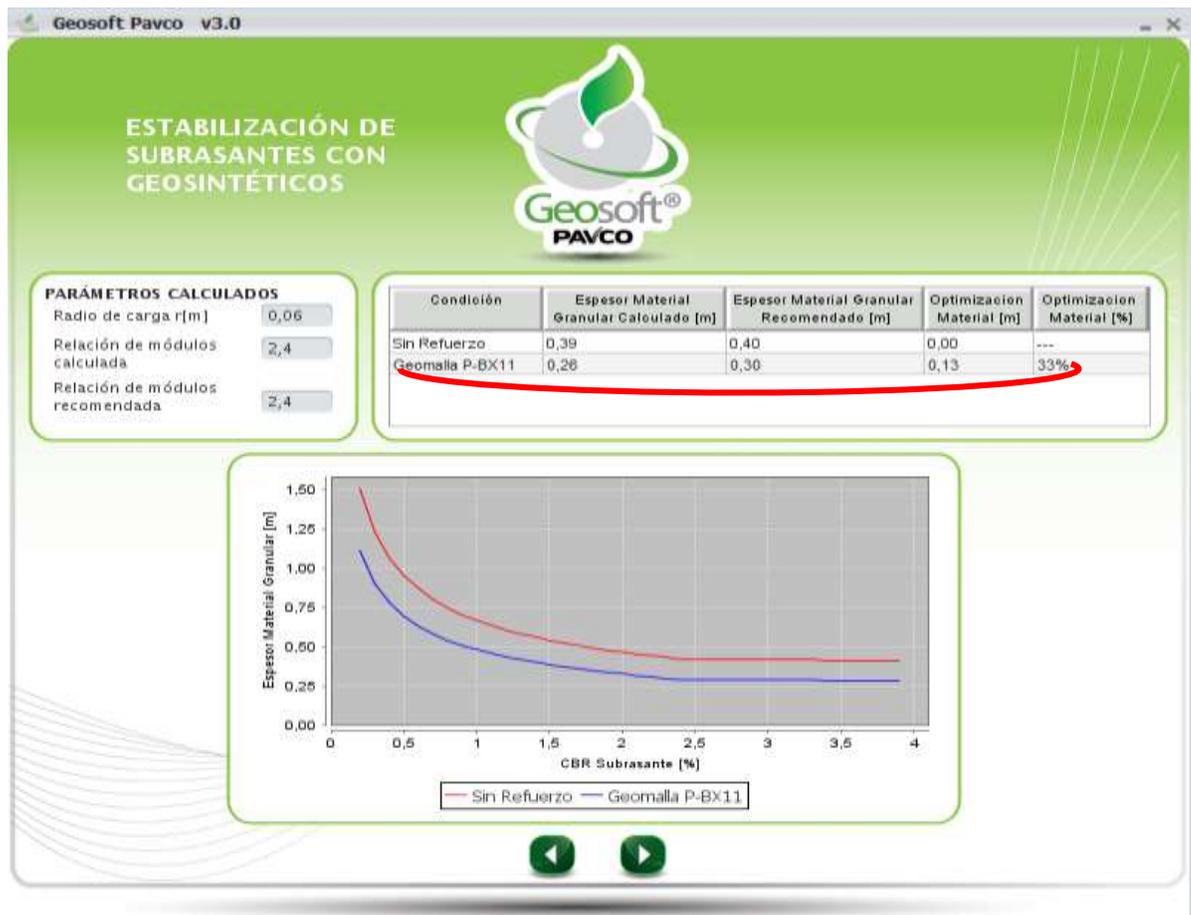
Paso N° 2.-

- Ahora nos muestra los parámetros ya calculados como ser: radio de carga (m), relación de módulos calculada y relación de modelos recomendada.
- También nos muestra una tabla donde se presenta la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, comparando los valores del espesor de la carpeta asfáltica y el espesor del material granular recomendado usando el material geosintético como refuerzo, en este caso la geomalla tipo P-BX11 (20 KN).
- Nos presenta también la optimización del material que se obtuvo con el uso del geotextil, en este caso se optimizó en un 33%, y una reducción de

espesor de la capa de 0,39 m a 0,26 m con el material de refuerzo de la geomalla tipo P-BX11, con una optimización del material de 0,13 m.

- Además nos presenta una gráfica de comparación de espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%) de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.

Fig. 4-57 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N° 3:

- En este último paso el programa nos presenta todos los resultados obtenidos de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo. La reducción que se presenta en el

espesor del material granular de 0.40 sin refuerzo a 0.30 con refuerzo geosintético de la geomalla P-BX11 (20KN).

- También nos presenta unas gráficas de comparación de cómo se verá la carpeta asfáltica una vez puesta en obra y donde se tiene que colocar el material geosintético de refuerzo, en este caso la geomalla P-BX11 (20KN).

Fig. 4-58 Resultados

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft® PAVCO

TIPO DE REFUERZO: Sin Refuerzo / Geomalla P-BX11

ESPESOR MATERIAL GRANULAR: 0,40 / 0,30

OPTIMIZACIÓN DE GRANULARES: ... / 33%

CBR 5,0 %

Geotextil de separación: En el caso del refuerzo con geomallas es necesario adicionalmente incluir un geotextil como elemento de separación.

DISEÑAR GEOTEXTIL SEPARACIÓN

GENERAR REPORTE

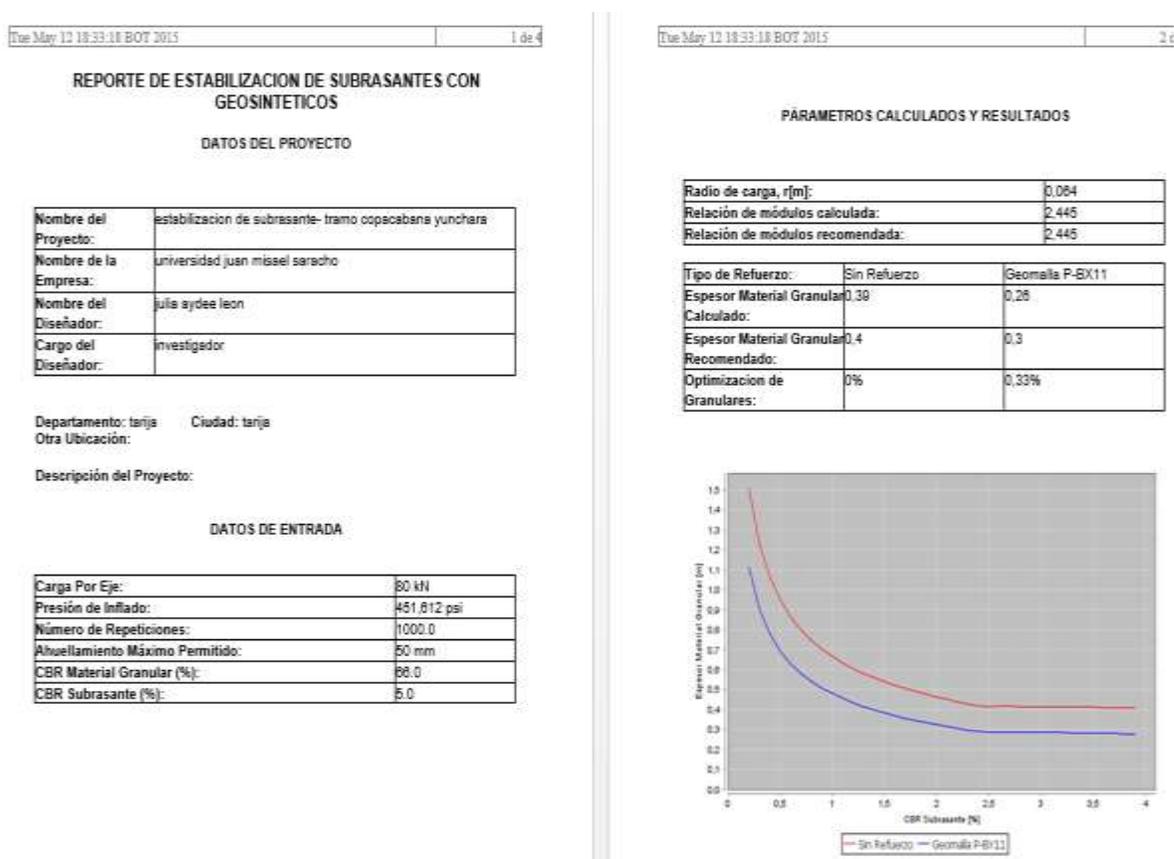
Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Por último, como en anteriores módulos, generamos el reporte de todo el trabajo y análisis realizado.

- Dicho reporte nos presenta los datos del proyecto, todos los datos de entrada que se requieren para el uso del módulo.
- También nos presenta de manera resumida los parámetros calculados y los resultados, además de la comparación que se hace de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo de la geomalla P-BX11 (20KN)..
- En este reporte también nos presenta la gráfica que se realizó analizando el espesor del material granular en (m) vs el CBR de la subrasante en (%).

Fig. 4-59 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

4.5.12. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo III.-

Paso N°1:

- Lo que se hace primeramente es introducir los datos del proyecto y del encargado del proyecto o del diseño que se quiere analizar cada parámetro de entrada están explicados en el capítulo anterior (parámetros de entradas).
- Seguidamente tenemos como parámetros de entrada el tráfico (carga por eje (kn), presión de inflado (psi), número de repeticiones y ahuellamiento máximo permitido (mm)). Los valores de estos datos están explicados en su totalidad en el anterior punto de parámetros de entrada.
- Ahora se escoge el tipo de Geosintético de refuerzo que queremos trabajar, para nuestro primer análisis utilizaremos la Geomalla de tipo P-BX12 (30 KN).
- También tenemos propiedades del suelo de fundación y relleno como ser el CBR del material granular con un valor de 66% y un CBR del material de subrasante de 5%, se escoge si queremos o no incluir un módulo resiliente de subrasante, en este caso pusimos que no, así como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-60 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

TRÁFICO

Carga por eje	80	kN
Presión de inflado	451,612	psi
Número de Repeticiones	1000	
Ahuellamiento Máximo Permitido	50	mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

- Geomalla Pavco P-8X11
- Geomalla Pavco P-8X12
- Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%)	66,0
CBR Subrasante (%)	5,0
Incluir Módulo Subrasante	<input type="radio"/> Sí <input checked="" type="radio"/> No
Módulo Subrasante	0 MPa

CARGA POR EJE=2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO: SUBRASANTE

Fuente: Propia

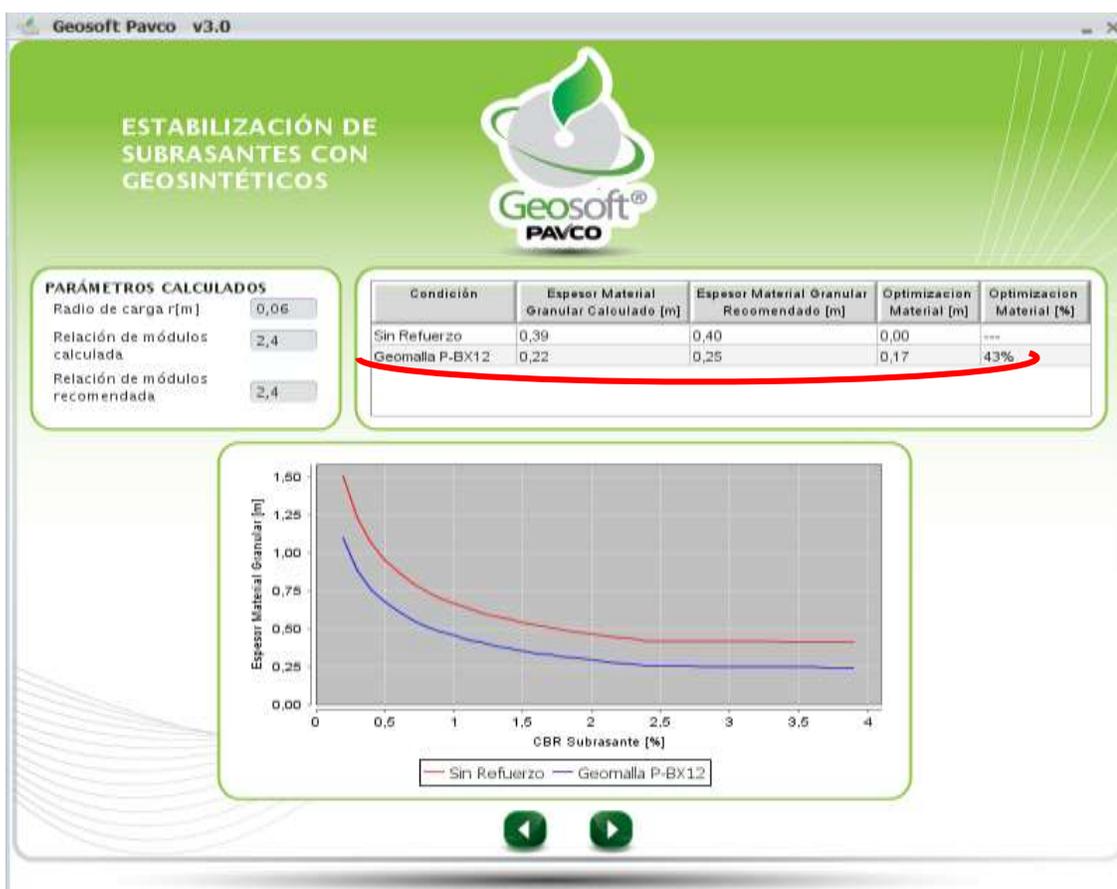
Paso N° 2.-

- Ahora nos muestra los parámetros ya calculados como ser: radio de carga (m), relación de módulos calculada y relación de modelos recomendada.
- También nos muestra una tabla donde se presenta la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, comparando los valores del espesor de la carpeta asfáltica y el espesor del material granular recomendado usando el material geosintético como refuerzo, en este caso la Geomalla de tipo P-BX12 (30 KN).
- Nos presenta también la optimización del material que se obtuvo con el uso del geotextil, en este caso se optimizó en un 43%, y una reducción de

espesor de la capa de 0,39 m a 0,22 m con el material de refuerzo de la geomalla tipo P-BX12, con una optimización del material de 0,17 m.

- Además nos presenta una gráfica de comparación de espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%) de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.

Fig. 4-61 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N° 3:

- En este último paso el programa nos presenta todos los resultados obtenidos de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo. La reducción que se presenta en el

espesor del material granular de 0.40 sin refuerzo a 0.30 con refuerzo geosintético de la Geomalla tipo P-BX12 (30 KN).

- También nos presenta unas gráficas de comparación de cómo se verá la carpeta asfáltica una vez puesta en obra y donde se tiene que colocar el material geosintético de refuerzo, en este caso la Geomalla P-BX12 (30 KN).

Fig. 4-62 Resultados

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft® PAVCO

TIPO DE REFUERZO: Sin Refuerzo

ESPESOR MATERIAL GRANULAR: 0,40

OPTIMIZACIÓN DE GRANULARES: ---

Geomalla P-BX12

0,25

43%

CBR 5,0 %

CBR 5,0 %

Geotextil de separación: En el caso del refuerzo con geomallas es necesario adicionalmente incluir un geotextil como elemento de separación.

DISEÑAR GEOTEXTIL SEPARACIÓN

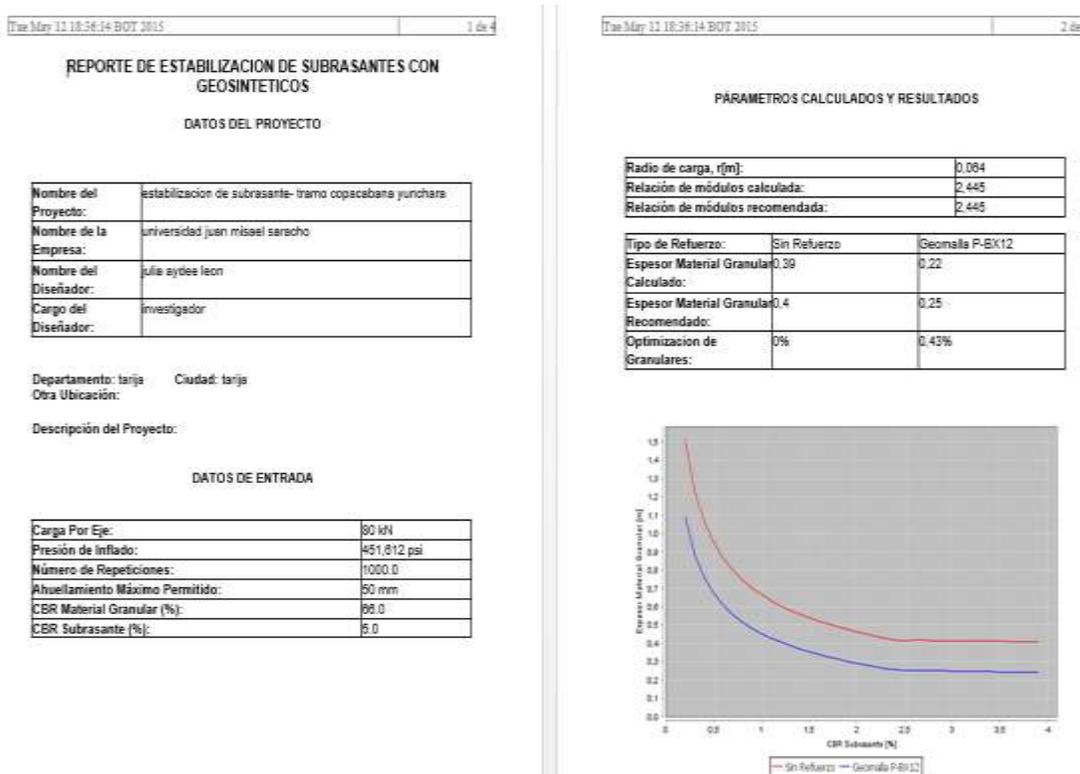
GENERAR REPORTE

Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Por último, como en anteriores módulos generamos el reporte de todo el trabajo y análisis realizado.
- Dicho reporte nos presenta los datos del proyecto, todos los datos de entrada que se requieren para el uso del módulo.
- También nos presenta de manera resumida los parámetros calculados y los resultados, además de la comparación que se hace de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo de la Geomalla P-BX12 (30 KN).
- En este reporte también nos presenta la gráfica que se realizó analizando el espesor del material granular en (m) vs el CBR de la subrasante en (%).

Fig. 4-63 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

c) Tramo Carlaso - Piedra Larga:**Módulo 2:****Estabilización de Subrasantes con Material Geosintéticos.-****4.5.13. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo I.-****Paso N°1:**

- Lo que se hace primeramente es introducir los datos del proyecto y del encargado del proyecto o del diseño que se quiere analizar cada parámetro de entrada están explicados en el capítulo anterior (parámetros de entradas).
- Seguidamente tenemos como parámetros de entrada el tráfico (carga por eje (kn), presión de inflado (psi), número de repeticiones y ahuellamiento máximo permitido (mm)). Los valores de estos datos están explicados en su totalidad en el anterior punto de parámetros de entrada.
- Ahora se escoge el tipo de Geosintético de refuerzo que queremos trabajar, para nuestro primer análisis utilizaremos el Geotextil Tejido.
- También tenemos propiedades del suelo de fundación y relleno como ser el CBR del material granular con un valor de 85% y un CBR del material de subrasante de 3,29%, se escoge si queremos o no incluir un módulo resiliente de subrasante, en este caso pusimos que no, así como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-64 Parámetros de Entrada

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft® PAVCO

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 451,612 psi

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-BX11

Geomalla Pavco P-BX12

Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 85,0

CBR Subrasante (%): 3,29

Incluir Módulo Subrasante: Sí No

Módulo Subrasante: 0 MPa

CARGA POR EJE=2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

Fuente: Propia

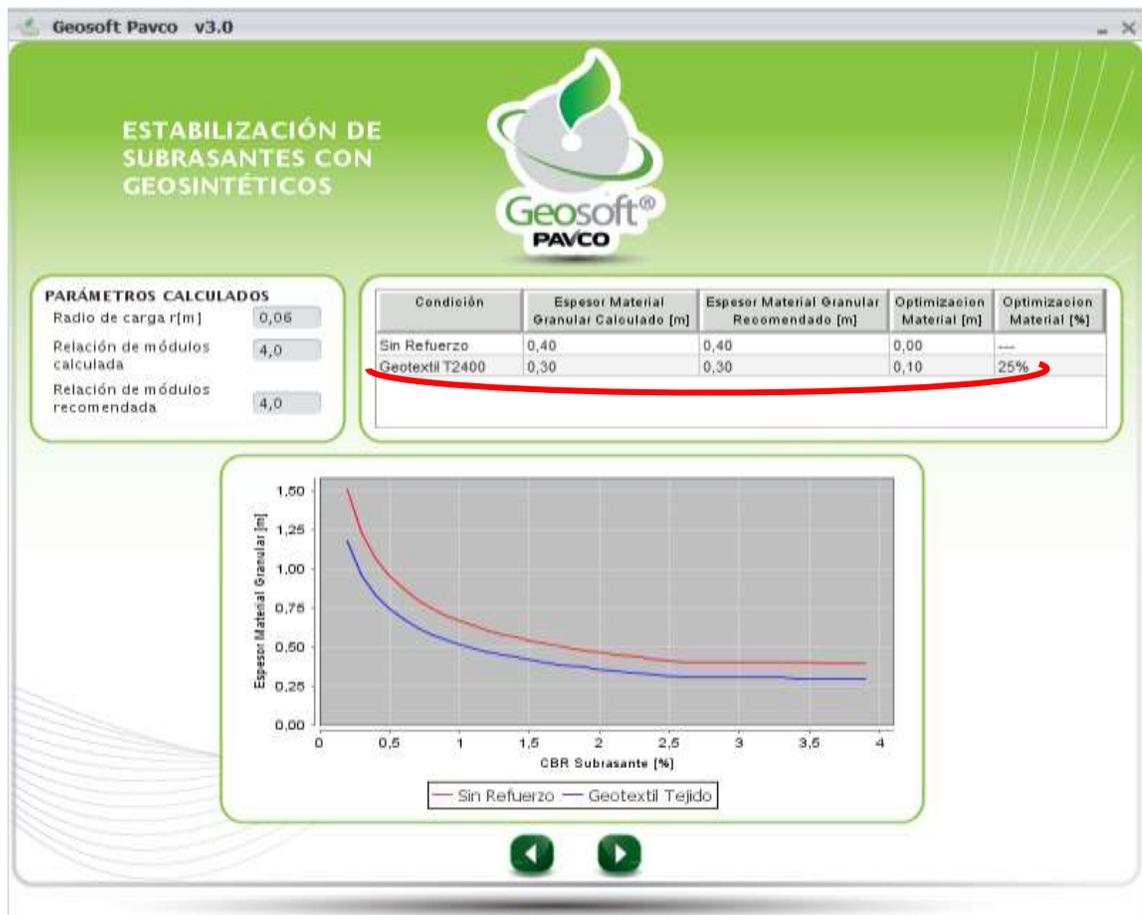
Paso N° 2.-

- Ahora nos muestra los parámetros ya calculados como ser: radio de carga (m), relación de módulos calculada y relación de modelos recomendada.
- También nos muestra una tabla donde se presenta la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, comparando los valores del espesor de la carpeta asfáltica y el espesor del material granular recomendado usando el material geosintético como refuerzo, en este caso la Geotextil tejido.
- Nos presenta también la optimización del material que se obtuvo con el uso del geotextil, en este caso se optimizó en un 25%, y una reducción de

espesor de la capa de 0,40 m a 0,30 m con el material de refuerzo de la geomalla tipo P-BX12, con una optimización del material de 0,10 m.

- Además nos presenta una gráfica de comparación de espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%) de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.

Fig. 4-65 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N° 3:

- En este último paso el programa nos presenta todos los resultados obtenidos de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo. La reducción que se presenta en el

espesor del material granular de 0.40 sin refuerzo a 0.30 con refuerzo geosintético del geotextil tejido T2400.

- También nos presenta unas graficas de comparación de cómo se verá la carpeta asfáltica una vez puesta en obra y donde se tiene que colocar el material geosintético de refuerzo, en este caso del geotextil tejido T2400.

Fig. 4-66 Resultados

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft® PAVCO

TIPO DE REFUERZO	Sin Refuerzo	Geotextil T2400
ESPEJOR MATERIAL GRANULAR	0,40	0,30
OPTIMIZACIÓN DE GRANULARES	---	25%

CBR 3,3 %

CBR 3,3 %

Geotextil de separación: En el caso del refuerzo con geomallas es necesario adicionalmente incluir un geotextil como elemento de separación.

DISEÑAR GEOTEXTIL SEPARACIÓN

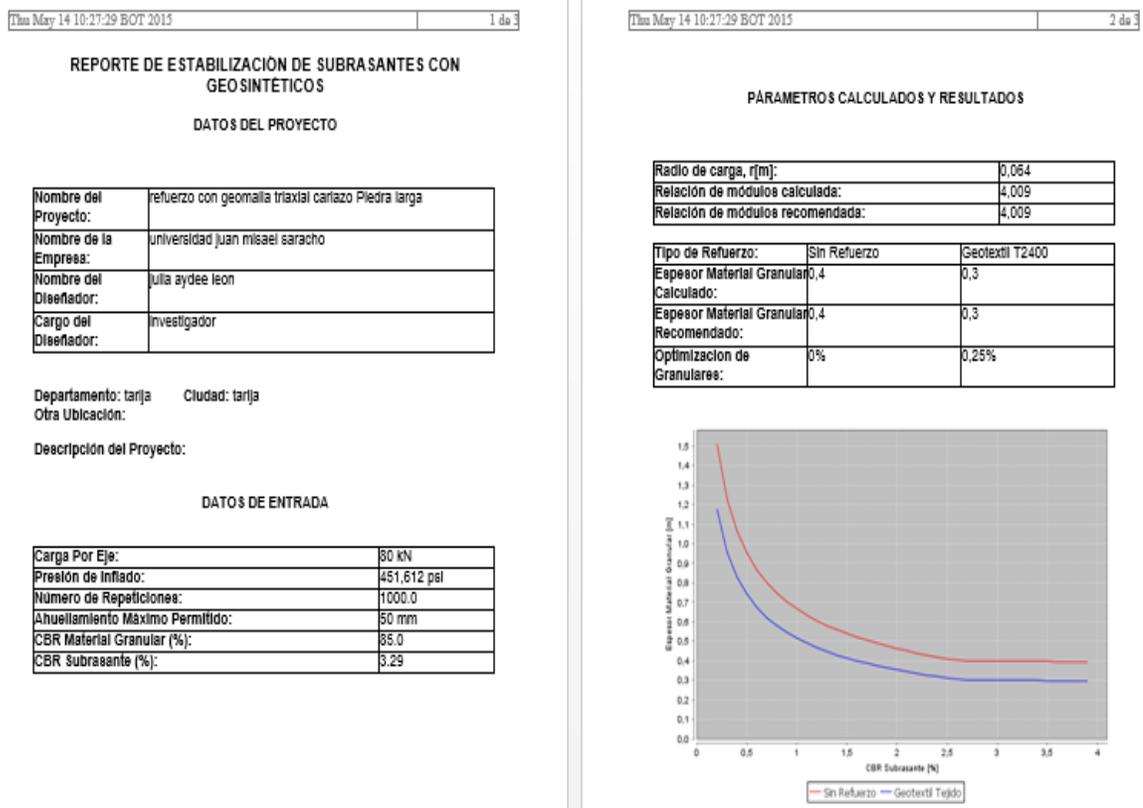
GENERAR REPORTE

Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Por último, como en anteriores módulos generamos el reporte de todo el trabajo y análisis realizado.
- Dicho reporte nos presenta los datos del proyecto, todos los datos de entrada que se requieren para el uso del módulo.
- También nos presenta de manera resumida los parámetros calculados y los resultados, además de la comparación que se hace de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo del geotextil tejido T2400.
- En este reporte también nos presenta la gráfica que se realizó analizando el espesor del material granular en (m) vs el CBR de la subrasante en (%).

Fig. 4-67 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

4.5.14. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo II.-

Paso N° 1:

- Lo que se hace primeramente es introducir los datos del proyecto y del encargado del proyecto o del diseño que se quiere analizar cada parámetro de entrada están explicados en el capítulo anterior (parámetros de entradas).
- Seguidamente tenemos como parámetros de entrada el tráfico (carga por eje (kn), presión de inflado (psi), número de repeticiones y ahuellamiento máximo permitido (mm)). Los valores de estos datos están explicados en su totalidad en el anterior punto de parámetros de entrada.
- Ahora se escoge el tipo de Geosintético de refuerzo que queremos trabajar, para nuestro primer análisis utilizaremos el Geomalla tipo P-BX11 (20 KN).
- También tenemos propiedades del suelo de fundación y relleno como ser el CBR del material granular con un valor de 85% y un CBR del material de subrasante de 3,29%, se escoge si queremos o no incluir un módulo resiliente de subrasante, en este caso pusimos que no, así como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-68 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 451,612 psi

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-BX11

Geomalla Pavco P-BX12

Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 85,0

CBR Subrasante (%): 3,29

Incluir Módulo Subrasante: SI No

Módulo Subrasante: 0 MPa

CARGA POR EJE=2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

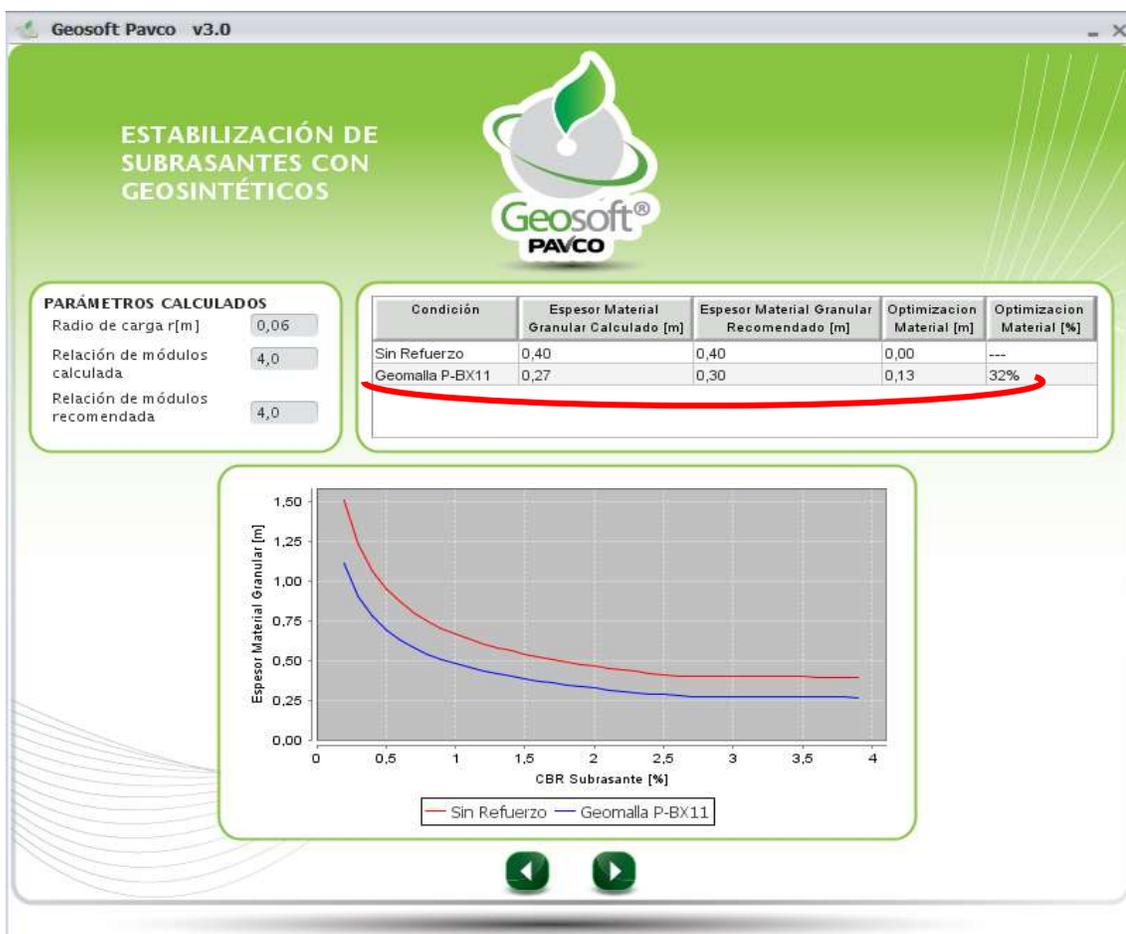
Fuente: Propia

Paso N° 2.-

- Ahora nos muestra los parámetros ya calculados como ser: radio de carga (m), relación de módulos calculada y relación de modelos recomendada.
- También nos muestra una tabla donde se presenta la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, comparando los valores del espesor de la carpeta asfáltica y el espesor del material granular recomendado usando el material geosintético como refuerzo, en este caso la Geomalla de tipo P-BX11 (20 KN).

- Nos presenta también la optimización del material que se obtuvo con el uso del geotextil, en este caso se optimizó en un 32%, y una reducción de espesor de la capa de 0,40 m a 0,27 m con el material de refuerzo de la geomalla tipo P-BX12, con una optimización del material de 0,13 m.
- Además nos presenta una gráfica de comparación de espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%) de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.

Fig. 4-69 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N° 3:

- En este último paso el programa nos presenta todos los resultados obtenidos de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo. La reducción que se presenta en el espesor del material granular de 0.40 sin refuerzo a 0.30 con refuerzo geosintético de la Geomalla tipo P-BX11 (20 KN).
- También nos presenta unas gráficas de comparación de cómo se verá la carpeta asfáltica una vez puesta en obra y donde se tiene que colocar el material geosintético de refuerzo, en este caso la Geomalla P-BX11 (20 KN).

Fig. 4-70 Resultados



Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Por ultimo, como en anteriores módulos generamos el reporte de todo el trabajo y análisis realizado.
- Dicho reporte nos presenta los datos del proyecto, todos los datos de entrada que se requieren para el uso del módulo.
- También nos presenta de manera resumida los parámetros calculados y los resultados, además de la comparación que se hace de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo de la Geomalla P-BX11 (20 KN).
- En este reporte también nos presenta la gráfica que se realizó analizando el espesor del material granular en (m) vs el CBR de la subrasante en (%).

Fig. 4-71 Reporte del Módulo Analizado

Thu May 14 10:33:38 BOT 2015 1 de 4

**REPORTE DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON
GEO SINTÉTICOS**

DATOS DEL PROYECTO

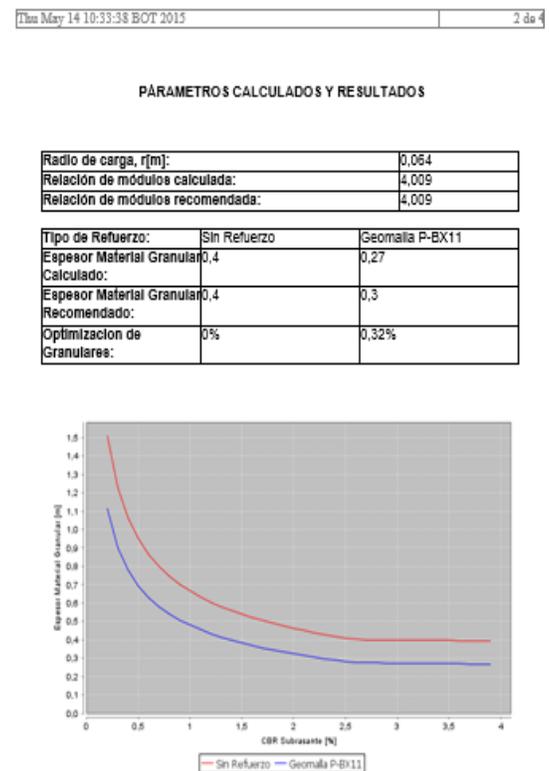
Nombre del Proyecto:	refuerzo con geomalla triaxial carlazo Piedra larga
Nombre de la Empresa:	universidad juan misael saracho
Nombre del Diseñador:	julia aydee leon
Cargo del Diseñador:	investigador

Departamento: tarja Ciudad: tarja
Otra Ubicación:

Descripción del Proyecto:

DATOS DE ENTRADA

Carga Por Eje:	80 kN
Presión de Infiado:	451.612 psi
Número de Repeticiones:	1000.0
Ahuellamiento Máximo Permitido:	50 mm
CBR Material Granular (%):	85.0
CBR Subrasante (%):	3.29



Fuente: Propia

4.5.15.-Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo III.-

Paso N°1:

- Lo que se hace primeramente es introducir los datos del proyecto y del encargado del proyecto o del diseño que se quiere analizar cada parámetro de entrada están explicados en el capítulo anterior (parámetros de entradas).
- Seguidamente tenemos como parámetros de entrada el tráfico (carga por eje (kn), presión de inflado (psi), número de repeticiones y ahuellamiento máximo permitido (mm)). Los valores de estos datos están explicados en su totalidad en el anterior punto de parámetros de entrada.
- Ahora se escoge el tipo de Geosintético de refuerzo que queremos trabajar, para nuestro primer análisis utilizaremos el Geomalla tipo P-BX12 (30 KN).
- También tenemos propiedades del suelo de fundación y relleno como ser el CBR del material granular con un valor de 85% y un CBR del material de subrasante de 3,29%, se escoge si queremos o no incluir un módulo resiliente de subrasante, en este caso pusimos que no, así como se muestra en la siguiente figura:

Fig. 4-72 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Geosoft® PAVCO

TRÁFICO

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 451,612 psi

Número de Repeticiones: 1000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 50 mm

GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO

Geomalla Pavco P-BX11

Geomalla Pavco P-BX12

Geotextil Tejido

PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO

CBR Material Granular (%): 85,0

CBR Subrasante (%): 3,29

Incluir Módulo Subrasante: SI No

Módulo Subrasante: 0 MPa

CARGA POR EJE = 2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

Fuente: Propia

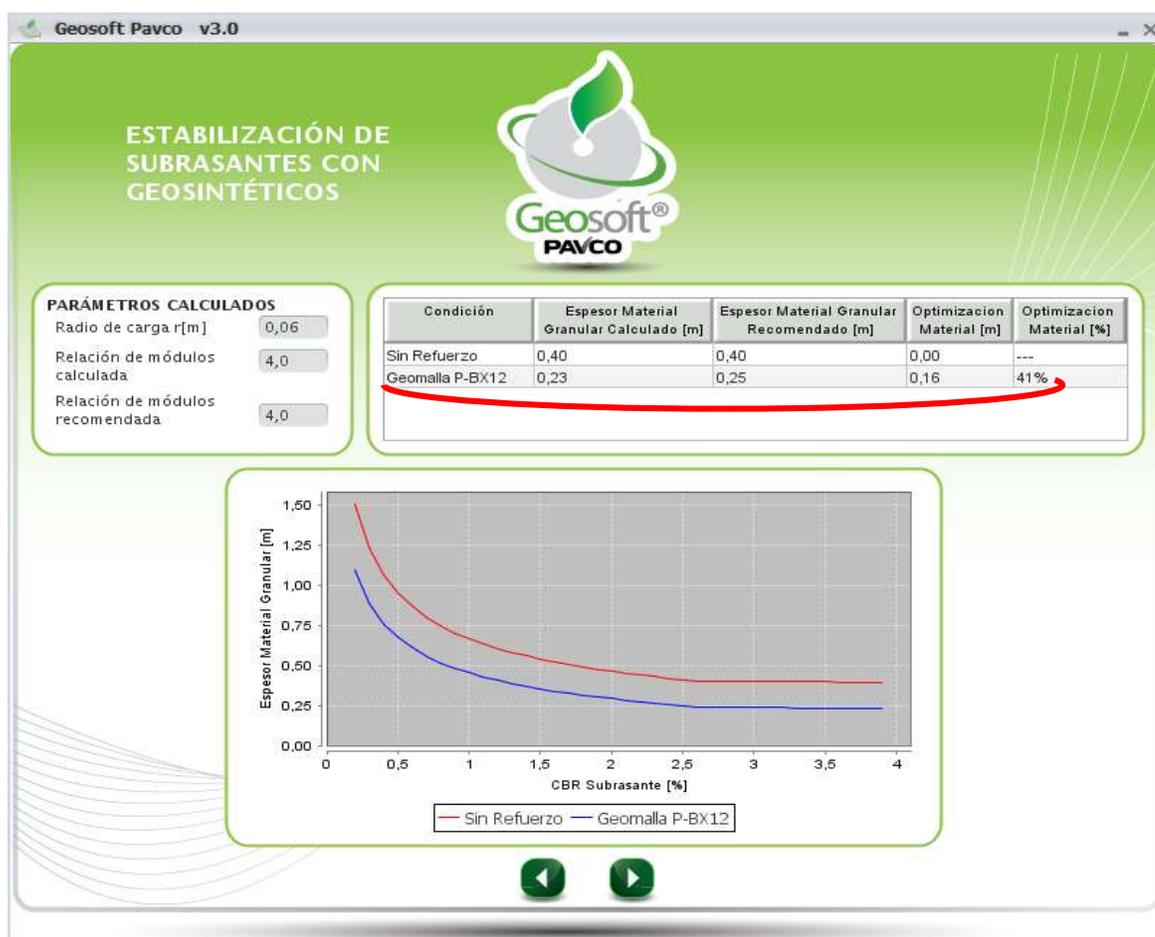
Paso N° 2.-

- Ahora nos muestra los parámetros ya calculados como ser: radio de carga (m), relación de módulos calculada y relación de modelos recomendada.
- También nos muestra una tabla donde se presenta la carpeta asfáltica con y sin refuerzo, comparando los valores del espesor de la carpeta asfáltica y el espesor del material granular recomendado usando el material geosintético como refuerzo, en este caso la Geomalla de tipo P-BX12 (30 KN).
- Nos presenta también la optimización del material que se obtuvo con el uso del geotextil, en este caso se optimizó en un 41%, y una reducción de

espesor de la capa de 0,40 m a 0,23 m con el material de refuerzo de la geomalla tipo P-BX12, con una optimización del material de 0,16 m.

- Además nos presenta una gráfica de comparación de espesor del material granular (m) vs CBR de la subrasante (%) de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo.

Fig. 4-73 Proceso de Cálculo



Fuente: Propia

Paso N° 3:

- En este último paso el programa nos presenta todos los resultados obtenidos de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo. La reducción que se presenta en el

espesor del material granular de 0.40 sin refuerzo a 0.25 con refuerzo geosintético de la Geomalla tipo P-BX12 (30 KN).

- También nos presenta unas gráficas de comparación de cómo se verá la carpeta asfáltica una vez puesta en obra y dónde se tiene que colocar el material geosintético de refuerzo, en este caso la Geomalla P-BX12 (30 KN).

Fig. 4-74 Resultados



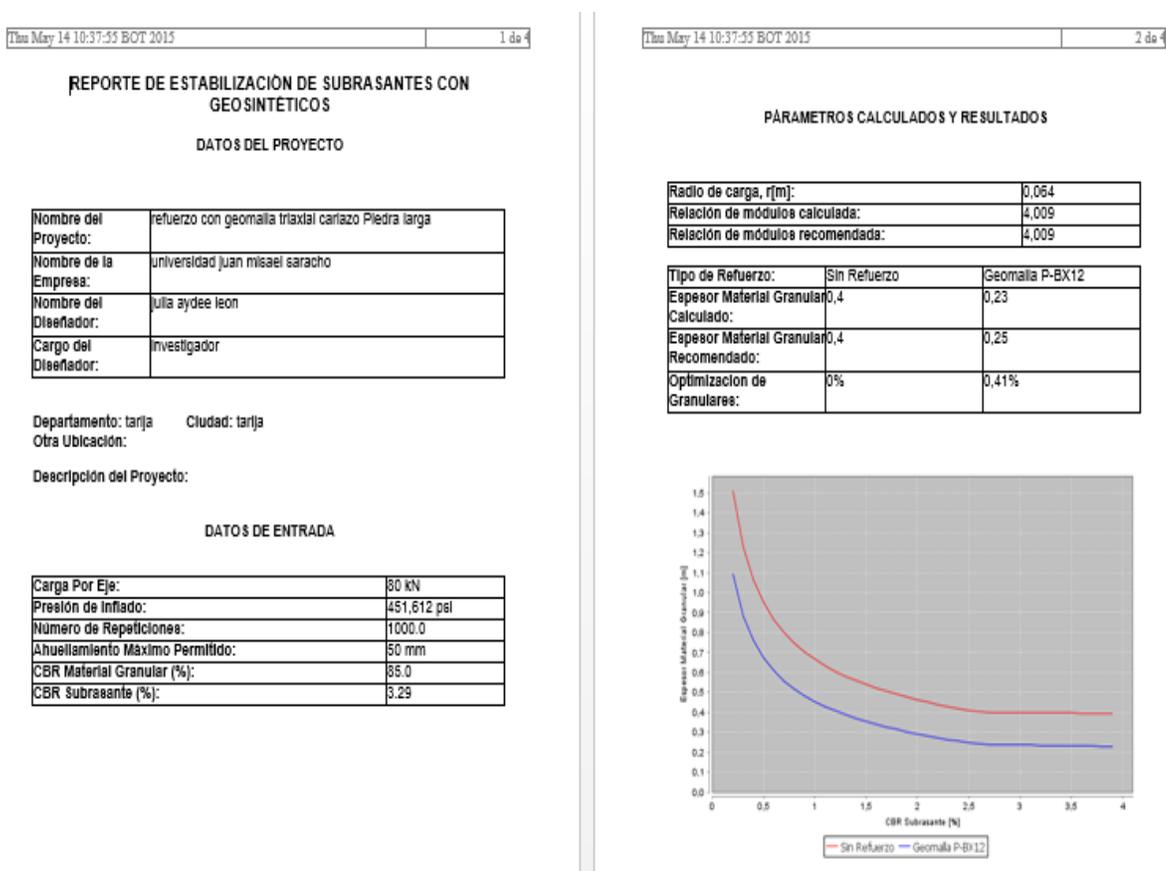
Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Por último, como en anteriores módulos generamos el reporte de todo el trabajo y análisis realizado.

- Dicho reporte nos presenta los datos del proyecto, todos los datos de entrada que se requieren para el uso del módulo.
- También nos presenta de manera resumida los parámetros calculados y los resultados, además de la comparación que se hace de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo de la Geomalla P-BX12 (30 KN).
- En este reporte también muestra la gráfica que se realizó analizando el espesor del material granular en (m) vs el CBR de la subrasante en (%).

Fig. 4-75 Reporte del Módulo Analizado



Fuente: Propia

4.6. DIMENSIONAMIENTO DE REFUERZOS EN BASE

4.6.1. Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo I.-

Módulo 3:

Separación de Capas granulares con Material Geosintético.-

Paso N° 1:

- Primeramente se anotan los parámetros de entrada como ser parámetros de diseño (factor de seguridad, presión de inflado, factor de seguridad parcial y diámetro máximo de las partículas de los agregados), todos estos datos fueron explicados en el capítulo parámetros de entrada.
- El tipo de suelo de subrasante se lo escoge según el terreno que presente nuestro tramo ya sea arenas, suelos arenosos mal gradados o suelos finos.
- Los criterios mecánicos son calculados automáticamente por el programa una vez introducidos los parámetros anteriormente descritos.

Fig. 4-76 Parámetros de Entrada

Geosoft PAVCO v3.0

SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

Geosoft® PAVCO

PARÁMETROS DE DISEÑO

Factor de seguridad global: 2.0

Presión de inflado p*: 100.0 psi

Factor de seguridad parcial: 1.5

Diámetro máximo partículas de agregados (en pulgadas): 4.0

CRITERIOS MECÁNICOS

Resistencia al Estallido (Mullen Burst) requerida [kPa]: 2,274.4

Resistencia al Punzonamiento [N]: 272.3

Resistencia a la Tensión (Grab)

Se verifica a través del cumplimiento de:

$$FS_g = \frac{T_{tut}}{FS_p \times p' \times 10^{-3} \times (0.33(d_p))^2 \times (T (e))} \quad FS = 1$$

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE

Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos del 50% pasa tamiz #200)

Suelos arenosos mal gradados

Suelos finos (mas del 50% pasa tamiz #200)

Fuente: Propia

Paso N° 2:

- En esta ventana según el tipo de suelo elegido anteriormente, se nos presenta distintos criterios de retención, para nuestro caso fue elegido el tipo de suelo de arenas, arenas limosas, arenas gravosas, y arenas arcillosas. Según este tipo de suelo elegimos el criterio de retención por curva granulométrica ya que contamos con esos datos.
- Se anotan los diámetros del D_{10} , D_{60} , D_{85} (mm), que fueron datos obtenidos de la granulometría del material de base que es usado desde Charaja.
- Se anota también como dato requerido el criterio de permeabilidad del suelo de subrasante en cm/s., dato obtenido del proyecto.
- Seguidamente, se elige la opción de que el programa analice los datos y revise con los criterios de supervivencia según la norma de AASHTO.
- Según todos los datos que fueron introducidos, el programa analiza los geotextiles propuestos que son usados para la separación de capas, según criterios mecánicos, factor de seguridad global (GRAB), criterios de retención y criterios de permeabilidad, el mismo programa nos da el tipo de geotextil apropiado para el material de suelo que se está usando en el proyecto, verificando de esta manera la(s) mejor opción para la separación de capas granulares.
- Para nuestro caso nos da dos tipos de geotextiles que cumplen con todos los criterios necesarios para la separación de las capas granulares según el tipo de suelo que se usó en el proyecto.
- A continuación, mostramos cómo se realizó todo lo anteriormente descrito:

Fig. 4-77 Proceso de Cálculo

Geosoft Pavco v3.0

SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

Geosoft® PAVCO

CRITERIO DE RETENCIÓN

Por Curva Granulométrica Usar criterio recomendado

Parámetros de la Curva Granulométrica TAA < 0.6 mm

D₁₀ [mm] 21,4

D₆₀ [mm] 142,96

D₈₅ [mm] 83,45

Definir criterio propio TAA < 1,0

CRITERIO DE PERMEABILIDAD

Permeabilidad del suelo de subrasante k(cm/s) 0,0000025

CRITERIO DE SUPERVIVENCIA

Desea revisar Criterios de Supervivencia (AASHTO M288-05 / Artículo 231-07 Normas INVIAS)? SI NO

GEOTEXTILES PROPUESTOS

	Geotextil Tejido T2100	Geotextil No Tejido NT4000
Criterios Mecánicos	Cumple!	Cumple!
Factor de Seguridad Global (GRAB)	Cumple!	Cumple!
Criterio de Retención	Cumple!	Cumple!
Criterio de Permeabilidad	Cumple!	Cumple!

CHEQUEAR

Fuente: Propia

Paso N° 3:

- Seguidamente el programa nos muestra una gráfica de cómo se verá el paquete estructural más la capa de separación entre la subrasante y el material granular de la base y subbase.

Fig. 4-78 Resultados



Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Una vez acabado todo el análisis realizado con el programa procedemos a generar el reporte de todo el trabajo.
- Este reporte nos da los datos del proyecto, datos de entrada, propiedades hidráulicas requeridas, parámetros calculados y resultados obtenidos.
- También nos muestra una tablita de los geotextiles propuestos por el programa para la separación requerida.

Fig. 4-79 Reporte del Módulo Analizado

Sun May 10 15:42:53 BOT 2015		1 de 2	
REPORTE DE SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE			
DATOS DEL PROYECTO			
Nombre del Proyecto:	estabilización en subrasantes analisis CAPA BASE		
Nombre de la Empresa:	universidad juan misael saracho		
Nombre del Diseñador:	Julia aydee leon		
Cargo del Diseñador:	investigador		
Departamento:	tarja	Ciudad:	tarja
Otra Ubicación:			
Descripción del Proyecto:			
DATOS DE ENTRADA			
PARÁMETROS PARA CHEQUEOS MECANICOS REQUERIDOS			
Factor de Seguridad Global:	2.0		
Factor de Seguridad Parcial:	1.5		
Presión de Inflado:	100 psi		
Diámetro de Partículas de Agregado:	4.0 pulgadas		
Tipo de suelo:	Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos de 50% pasa tamiz #200)		
PROPIEDADES HIDRÁULICAS REQUERIDAS			
Permeabilidad Suelo Fundación:	2.5E-6 cm/s		
D10:	21.4		
D60:	142.96		
D85:	83.45		

Sun May 10 15:42:53 BOT 2015		2 de 2	
PARAMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS			
Resistencia al Punzonamiento Requerida:	272.3 N		
Resistencia al Estallido Requerida:	2.274,4 N		
¿Se reviso criterio de supervivencia?:	SI		
Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil Tejido:	1.5		
Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil no Tejido:	1.7		
GEOTEXTILES RECOMENDADOS			
Geotextil Tejido:	T2100		
Geotextil No Tejido:	NT4000		
Notas:			
<ul style="list-style-type: none"> La escogencia final del tipo de geotextil (tejido-no tejido), dependerá de las condiciones de humedad propias del proyecto, posición y fluctuación del nivel freático. Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPPR) o (MARV) por su nombre en Ingles. 			
ADVERTENCIA			
Esta herramienta de cálculo es un complemento al Manual de Diseño. El usuario debe conocer las ecuaciones, su aplicabilidad y limitaciones. Esta herramienta de cálculo no debe ser usada en reemplazo de un Ingeniero diseñador.			
La información contenida aquí no puede ser garantizada ya que las condiciones del usuario están más allá de nuestro control. El usuario de esta herramienta asume todos los riesgos asociados con su uso.			
A pesar de que todos los esfuerzos han sido hechos para verificar su funcionamiento y resultados, GEOSISTEMAS-PAVCO no se hace responsable por cualquier error en los cálculos obtenidos con esta herramienta. Datos asumidos o valores entrados erróneos pueden dar soluciones incorrectas.			

Fuente: Propia

4.7.- DIMENSIONAMIENTO DE LA SUBBASE.-

4.7.1.- Dimensionamiento con Geosintéticos Tipo I.-

Módulo 3:

Separación de Capas Granulares con Material Geosintético

Paso N° 1:

- Primeramente, se anotan los parámetros de entrada como ser parámetros de diseño (factor de seguridad, presión de inflado, factor de seguridad parcial y diámetro máximo de las partículas de los agregados), todos estos datos fueron explicados en el capítulo parámetros de entrada.

- Para este análisis se cambió el tamaño máximo de las partículas de 3" a 4", de este modo se analizarán otros valores de material granular ya que se está analizando el material de subbase.
- El tipo de suelo de subrasante se lo escoge según el terreno que presente nuestro tramo ya sea arenas, suelos arenosos mal gradados o suelos finos.
- Los criterios mecánicos son calculados automáticamente por el programa una vez introducidos los parámetros anteriormente descritos.

Fig. 4-80 Parámetros de Entrada

Geosoft Pavco v3.0

SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

PARÁMETROS DE DISEÑO

Factor de seguridad global: 2.0
 Presión de inflado p': 451,612 psi
 Factor de seguridad parcial: 1.5
 Diámetro máximo o partículas de agregados (en pulgadas): 3.0

CRITERIOS MECÁNICOS

Resistencia al Estallido (Mullen Burst) requerida [kPa]: 7.703,4
 Resistencia al Punzonamiento [N]: 922,3
 Resistencia a la Tensión (Crab)
 Se verifica a través del cumplimiento de:

$$FS_g = \frac{T_{uti}}{FS_p \times p' \times 10^{-3} (0.33d_a)^2 \times [f(\epsilon)]} \quad FS > 1$$

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE

Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos del 50%, pasa tamiz #200)
 Suelos arenosos mal gradados
 Suelos finos (mas del 50%, pasa tamiz #200)

Fuente: Propia

Paso N° 2:

- En esta ventana, según el tipo de suelo elegido anteriormente se nos presenta distintos criterios de retención, para nuestro caso fue elegido el tipo de suelo de arenas, arenas limosas, arenas gravosas, y arenas arcillosas. Según este tipo de suelo elegimos el criterio de retención por curva granulométrica ya que contamos con esos datos.
- Se anotan los diámetros del D_{10} , D_{60} , D_{85} (mm), que fueron datos obtenidos de la granulometría del material de base que es usado desde Charaja.
- Se anota también como dato requerido el criterio de permeabilidad del suelo de subrasante en cm/s., dato obtenido del proyecto.
- Seguidamente, se elige la opción de que el programa analice los datos y revise con los criterios de supervivencia según la norma de AASHTO.
- También definiremos por criterio propio el valor comparado con el criterio de retención TAA (tamaño de abertura aparente del geotextil) esta definición se la realiza según el D_{85} y el coeficiente de uniformidad (C_u)
- Según todos los datos que fueron introducidos, el programa analiza los geotextiles propuestos que son usados para la separación de capas, según criterios mecánicos, factor de seguridad global (GRAB), criterios de retención y criterios de permeabilidad, el mismo programa nos da el tipo de geotextil tejido o no tejido más apropiado para el material de suelo que se está usando en el proyecto, verificando de esta manera la(s) mejor opción para la separación de capas granulares.
- Para nuestro caso, nos da un solo tipo de geotextil que cumple con todos los criterios necesarios para la separación de las capas granulares según el tipo de suelo que se usó en el proyecto.
- A continuación, mostramos cómo se realizó todo lo anteriormente descrito:

Fig. 4-81 Proceso de Cálculo

Geosoft Pavco v3.0

SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

Geosoft PAVCO

CRITERIO DE RETENCIÓN

Por Curva Granulométrica Usar criterio recomendado

Parámetros de la Curva Granulométrica

D₁₀ [mm]

D₆₀ [mm]

D₈₅ [mm]

TAA < 0,6 mm

Definir criterio propio

TAA <

CRITERIO DE PERMEABILIDAD

Permeabilidad del suelo de subrasante k(cm/s)

CRITERIO DE SUPERVIVENCIA

Desea revisar Criterios de Supervivencia (AASHTO M288-05 / Artículo 231-07 Normas INVIAS)? SI NO

GEOTEXILES PROPUESTOS

	Geotextil Tejido TR6000	No hay geotextil que cumple
Criterios Mecánicos	Cumple!	No Cumple
Factor de Seguridad Global(GRAB)	Cumple!	No Cumple
Criterio de Retención	Cumple!	No Cumple
Criterio de Permeabilidad	Cumple!	No Cumple

CHEQUEAR

Fuente: Propia

Paso N° 3:

- Seguidamente, el programa nos muestra una gráfica de cómo se verá el paquete estructural más la capa de separación entre la subrasante y el material granular de la base y subbase.

Fig. 4-82 Resultados



Fuente: Propia

Paso N° 4:

- Una vez acabado todo el análisis realizado con el programa procedemos a generar el reporte de todo el trabajo.
- Este reporte nos da los datos del proyecto, datos de entrada, propiedades hidráulicas requeridas, parámetros calculados y resultados obtenidos.
- También nos muestra una tablita de los geotextiles propuestos por el programa para la separación requerida.

Fig. 4-83 Reporte del Módulo Analizado

Sun May 10 15:33:19 BOT 2015		1 de 3
REPORTE DE SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE		
DATOS DEL PROYECTO		
Nombre del Proyecto:	estabilizacion en subrasantes analisis CAPA BASE	
Nombre de la Empresa:	universidad juan misael saracho	
Nombre del Diseñador:	Julia aydee leon	
Cargo del Diseñador:	Investigador	
Departamento:	tarja	Ciudad: tarja
Otra Ubicación:		
Descripción del Proyecto:		
DATOS DE ENTRADA		
PARÁMETROS PARA CHEQUEOS MECANICOS REQUERIDOS		
Factor de Seguridad Global:	2.0	
Factor de Seguridad Parcial:	1.5	
Presión de Infiado:	451.612 psi	
Diámetro de Partículas de Agregado:	2.5 puigadas	
Tipo de suelo:	Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos de 50% pasa tamiz #200)	
PROPIEDADES HIDRÁULICAS REQUERIDAS		
Permeabilidad Suelo Fundación:	2.5E-6 cm/s	
TAA <	0.15	

Sun May 10 15:33:19 BOT 2015		2 de 3
PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS		
Resistencia al Punzonamiento Requerida:	769,1 N	
Resistencia al Estallido Requerida:	6.419,0 N	
¿Se revisó criterio de supervivencia?:	SI	
Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil Tejido:	1.9	
Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil no Tejido:	0.0	
GEOTEXTILES RECOMENDADOS		
Geotextil Tejido:	TR4000	
Geotextil No Tejido:	NO HAY GEOTEXTIL QUE CUMPLA	
Notas:		
<ul style="list-style-type: none"> La escogencia final del tipo de geotextil (tejido-no tejido), dependerá de las condiciones de humedad propias del proyecto, posición y fluctuación del nivel freático. Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPR) ó (MARV) por su nombre en Ingles. 		
ADVERTENCIA		
Esta herramienta de cálculo es un complemento al Manual de Diseño. El usuario debe conocer las ecuaciones, su aplicabilidad y limitaciones. Esta herramienta de cálculo no debe ser usada en reemplazo de un Ingeniero diseñador.		
La información contenida aquí no puede ser garantizada ya que las condiciones del usuario están más allá de nuestro control. El usuario de esta herramienta asume todos los riesgos asociados con su uso.		
A pesar de que todos los esfuerzos han sido hechos para verificar su funcionamiento y resultados, GEOSISTEMAS-PAVCO no se hace responsable por cualquier error en los cálculos obtenidos con esta herramienta. Datos asumidos o valores entrados erróneos pueden dar soluciones incorrectas.		

Fuente: Propia

4.8. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PAVIMENTO.-

Lo que se hará es analizar el precio unitario por capa granular y el precio total de la carpeta asfáltica con y sin refuerzo del material geosintético, para que de esta manera se pueda hacer un mejor análisis de los resultados obtenidos con el programa y verificar la mejor opción, tanto económica como estructural para los tramos analizados.

a) Carpeta de Concreto Asfáltico:

Descripción	Unidad	Cantidad	% Prod.	Precio Unitario		Precio Total	
				Improductivo	Productivo		
1.- MATERIALES E INSUMOS							
1.1.	Concreto asfáltico	t	1,0000			49,59	49,59
1.2.	Filler	kg	20,0000			0,10	2,00
1.3.							
1.4.							
TOTAL MATERIALES E INSUMOS						51,59	
2.- MANO DE OBRA (INCLUYE ALIMENTACIÓN)							
2.1.	Operador Equipo Pesado	h-h	0,0020			2,67	0,01
2.2.	Operador Equipo Liviano	h-h	0,1435			1,93	0,28
2.3.	Ayudante	h-h	0,0020			0,88	0,00
2.4.	Peón	h-h	0,0081			0,79	0,01
2.5.	Capataz	h-h	0,0008			2,67	0,00
2.6.							
TOTAL MANO DE OBRA (INCLUYE ALIMENTACIÓN)						0,29	
3.- MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS							
3.1.	Distribuidor de agregados CMI	h	0,0019	100%	1,11	27,27	0,05
3.2.	Distribuidor de asfalto	h	0,0009	100%	20,92	49,68	0,05
3.3.	Compactador de neumáticos CAT PS-180, 77 HP	h	0,0011	100%	9,52	24,02	0,03
3.4.	Volqueta, cap. = 10 m3, MERCEDES BENZ, LK-2318/42	h	0,1417	100%	8,60	31,38	4,45
3.5.							
3.6.							
3.9.	Herramientas: % a la Mano de Obra Directa					5%	0,01
TOTAL MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS						4,58	
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS							
4.1.	Gastos Generales: % al Costo Directo					26,00%	14,68
4.2.	Cargas Sociales: % a la Mano de Obra Directa					64,91%	0,19
4.3.	Mano de Obra Indirecta: % a la Mano de Obra Directa						
4.4.	Impuesto al Valor Agregado (IVA): % a la Mano de Obra					13,00%	0,04
4.5.	Utilidad: % al Costo Directo					10,00%	5,65
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS						20,56	
5.- IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES							
5.1.	Impuesto a las Transacciones: % al Sub Total General					3,00%	2,31
TOTAL IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES						2,31	
TOTAL PRECIO UNITARIO						79,33	

b) Carpeta Subbase de Material Granular:

Descripción	Unidad	Cantidad	% Prod.	Precio Unitario		Precio Total
				Improductivo	Productivo	
1.-						
1.1.	Sub base seleccionada	m3s	1,2000		1,60	1,92
1.2.						
TOTAL MATERIALES E INSUMOS						1,92
2.-						
2.1.	Operador Equipo Pesado	h-h	0,0040		2,49	0,01
2.2.	Operador Equipo Liviano	h-h	0,0056		1,93	0,01
2.3.	Ayudante	h-h	0,0020		0,88	0,00
2.4.	Peón	h-h	0,0040		0,79	0,00
2.5.	Capataz	h-h	0,0005		2,67	0,00
2.6.	Chofer	h-h	0,0005		1,93	0,00
2.7.						
TOTAL MANO DE OBRA (INCLUYE ALIMENTACIÓN)						0,03
3.-						
3.1.	Camión cisterna, cap. = 10,000 l, IVECO	h	0,0056	100%	8,13	30,62
3.2.	Motoniveladora CAT 120, 125 HP	h	0,0020	100%	21,40	50,17
3.3.	Compactador de rodillo liso CAT CS-5330	h	0,0020	100%	14,76	38,87
3.4.	Camioneta 4x4	h	0,0005	100%	4,13	17,2
3.5.						
3.6.	Herramientas: % a la Mano de Obra Directa				5%	0,00
TOTAL MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS						0,36
4.-						
4.1.					26,00%	0,60
4.2.	Cargas Sociales: % a la Mano de Obra Directa				64,91%	0,02
4.3.	Mano de Obra Indirecta: % a la Mano de Obra Directa					
4.4.	Impuesto al Valor Agregado (IVA): % a la Mano de Obra				13,00%	0,00
4.5.	Utilidad: % al Costo Directo				10,00%	0,23
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS						0,85
5.-						
5.1.					3,00%	0,09
TOTAL IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES						0,09
TOTAL PRECIO UNITARIO						3,25

c) Carpeta Base de Material Granular:

Descripción	Unidad	Cantidad	% Prod.	Precio Unitario		Precio Total	
				Improductivo	Productivo		
1.- MATERIALES E INSUMOS							
1.1.	Base triturada	m3s	1,2000			7,14	8,57
1.2.							
TOTAL MATERIALES E INSUMOS						8,57	
2.- MANO DE OBRA (INCLUYE ALIMENTACIÓN)							
2.1.	Operador Equipo Pesado	h-h	0,0061			2,49	0,02
2.2.	Operador Equipo Liviano	h-h	0,0056			1,93	0,01
2.3.	Ayudante	h-h	0,0030			0,88	0,00
2.4.	Peón	h-h	0,0061			0,79	0,00
2.5.	Capataz	h-h	0,0008			2,67	0,00
2.6.	Chofer	h-h	0,0008			1,93	0,00
2.7.							
TOTAL MANO DE OBRA (INCLUYE ALIMENTACIÓN)						0,04	
3.- MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS							
3.1.	Camión cisterna, cap. = 10,000 l, IVECO	h	0,0056	100%	8,13	30,62	0,17
3.2.	Motoniveladora CAT 120, 125 HP	h	0,0030	100%	21,40	50,17	0,15
3.3.	Compactador de rodillo liso CAT CS-5330	h	0,0030	100%	14,76	38,87	0,12
3.4.	Camioneta 4x4	h	0,0008	100%	4,13	17,2	0,01
3.5.							
3.9.	Herramientas: % a la Mano de Obra Directa					5%	0,00
TOTAL MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS						0,45	
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS							
4.1.	Gastos Generales: % al Costo Directo					26,00%	2,36
4.2.	Cargas Sociales: % a la Mano de Obra Directa					64,91%	0,02
4.3.	Mano de Obra Indirecta: % a la Mano de Obra Directa						
4.4.	Impuesto al Valor Agregado (IVA): % a la Mano de Obra					13,00%	0,00
4.5.	Utilidad: % al Costo Directo					10,00%	0,91
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS						3,29	
5.- IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES							
5.1.	Impuesto a las Transacciones: % al Sub Total General					3,00%	0,37
TOTAL IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES						0,37	
TOTAL PRECIO UNITARIO						12,72	

d) Material Geosintético:

Descripción	Unidad	Cantidad	% Prod.	Precio Unitario		Precio Total
				Improductivo	Productivo	
1.-	MATERIALES E INSUMOS					
1.1.	Geotextil	m2	1,00		0,80	0,80
1.2.						
1.3.						
TOTAL MATERIALES E INSUMOS						0,80
2.-	MANO DE OBRA (INCLUYE ALIMENTACIÓN)					
2.1.	Maestro	h-h	0,1000		1,00	0,10
2.2.	Peón	h-h	0,4000		0,60	0,24
2.3.	Capataz	h-h	0,0400		2,30	0,09
2.4.						
2.5.						
TOTAL MANO DE OBRA (INCLUYE ALIMENTACIÓN)						0,43
3.-	MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
3.1.						
3.2.						
3.3.						
3.4.	Herramientas: % a la Mano de Obra Directa				5%	0,02
TOTAL MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS						0,02
4.-	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
4.1.	Gastos Generales: % al Costo Directo				26,00%	0,33
4.2.	Cargas Sociales: % a la Mano de Obra Directa				64,91%	0,28
4.3.	Mano de Obra Indirecta: % a la Mano de Obra Directa					
4.4.	Impuesto al Valor Agregado (IVA): % a la Mano de Obra				13,00%	0,06
4.5.	Utilidad: % al Costo Directo				10,00%	0,13
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS						0,79
5.-	IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES					
5.1.	Impuesto a las Transacciones: % al Sub Total General				3,00%	0,06
TOTAL IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES						0,06
TOTAL PRECIO UNITARIO						2,10

4.8.1. Comparaciones de los Precios en los Espesores de las Capas Granulares:

4.8.1.1. Análisis de los Espesores sin Refuerzo:

1) TRAMO 1 – Quebrada - Las Vacas Salinas

Tabla 4-14 Precio de la Estructura de Pavimento sin Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base (Provisión y Ejecución) (No incluye transporte)	m3	58,50
2	Capa Base (Provisión y Ejecución) (No incluye transporte)	m3	190,80
3	Carpeta de Concreto Asfáltico (Suministro y ejecución)	m3	396,65
Total Precio			645,95

Fuente: Propia

2) TRAMO 2 – Copacabana - Yunchará

Tabla 4-15 Precio de la Estructura de Pavimento sin Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base (Provisión y Ejecución) (No incluye transporte)	m3	65,00
2	Capa Base (Provisión y Ejecución) (No incluye transporte)	m3	190,80
3	Carpeta de Concreto Asfáltico (Suministro y ejecución)	m3	396,65
Total Precio			652,45

Fuente: Propia

3) TRAMO 3 – Carlaso - Piedra Larga:

Tabla 4-16 Precio de la Estructura de Pavimento sin Refuerzo

N°	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base (Provisión y Ejecución) (No incluye transporte)	m3	74,75
2	Capa Base (Provisión y Ejecución) (No incluye transporte)	m3	254,40
3	Carpeta de Concreto Asfáltico (Suministro y ejecución)	m3	396,65
Total Precio			725,80

Fuente: Propia

4.8.1.2. Análisis de los Espesores Calculados con Refuerzo de Material Geosintético:**1) Carpeta Asfáltica con Refuerzo de material Geosintético:**

a) Módulo Refuerzo con Geomalla Biaxial Coextruída:

- **Tramo 1 Quebrada – Vacas Salinas****Geomalla tipo P-BX11 (20 KN):****Tabla 4-17 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo**

N°	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m3	48.75
2	Capa Base	m3	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m3	396.65
4	Geomalla	m2	1,90
Total Precio			574.50

Fuente: Propia

Geomalla tipo P-BX12 (30 KN)

Tabla 4-18 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	2,10
Total Precio			574.70

Fuente: Propia

- Tramo 2 Copacabana - Yunchará

Geomalla tipo P-BX11 (20 KN):

Tabla 4-19 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geotextil	m2	1,90
Total Precio			574.50

Fuente: Propia

Geomalla tipo P-BX12 (30 KN):

Tabla 4-20 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	2,10
Total Precio			574.70

Fuente: Propia

- Tramo 3 Carlaso – Piedra Larga
Geomalla tipo P-BX11 (20 KN)

Tabla 4-21 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	203.65
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	1,95
Total Precio			650.82

Fuente: Propia

Geomalla tipo P-BX12 (30 KN)

Tabla 4-22 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	254.40
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	2,10
Total Precio			701.90

Fuente: Propia

b) **Módulo Estabilización de la Subrasante con Material Geosintético:**

- **Tramo 1 Quebrada – Vacas Salinas**

Geotextil Tejido:

Tabla 4-23 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	190.80
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geotextil	m2	2.00
Total Precio			638.20

Fuente: Propia

- **Geomalla tipo P-BX11 (20 KN)**

Tabla 4-24 Precio de la Estructura de pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	1.90
Total Precio			574.50

Fuente: Propia

- **Geomalla Tipo P-BX12 (30 KN)**

Tabla 4-25 Precio de la Estructura de pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	2.10
Total Precio			574.70

Fuente: Propia

- **Tramo 2 Copacabana - Yunchará**

Geotextil tejido

Tabla 4-26 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	190.80
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.20
4	Geotextil	m2	2.00
Total Precio			638.20

Fuente: Propia

- **Geomalla tipo P-BX11 (20 KN)**

Tabla 4-27 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	1.90
Total Precio			574.50

Fuente: Propia

- **Geomalla tipo P-BX12 (30 kN)**

Tabla 4-28 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	2.10
Total Precio			574.70

Fuente: Propia

- **Tramo 3 Carlaso – Piedra Larga**

Geotextil Tejido

Tabla 4-29 Precio de la Estructura de pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	65.00
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geotextil	m2	2.00
Total Precio			590.85

Fuente: Propia

- **Geomalla tipo P-BX11 (20 KN)**

Tabla 4-30 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	190.80
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	1.90
Total Precio			638.10

Fuente: Propia

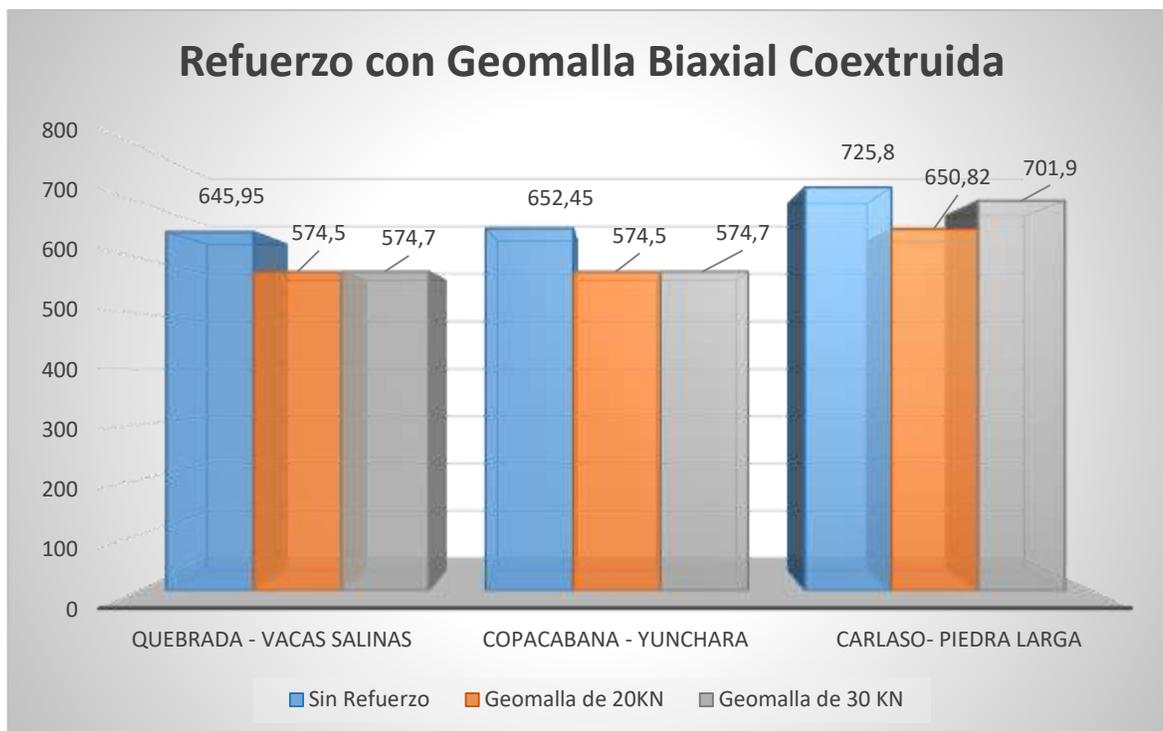
- **Geomalla tipo P- BX 12 (30 kN)**

Tabla 4-31 Precio de la Estructura de Pavimento con Refuerzo

Nº	Descripción	Unidad	Precio Unitario (\$us)
1	Capa Sub Base	m2	48.75
2	Capa Base	m2	127.20
3	Carpeta de Concreto Asfáltico	m2	396.65
4	Geomalla	m2	2.10
Total Precio			574.70

Fuente: Propia

Fig. 4-84 Análisis Económico Módulo 1

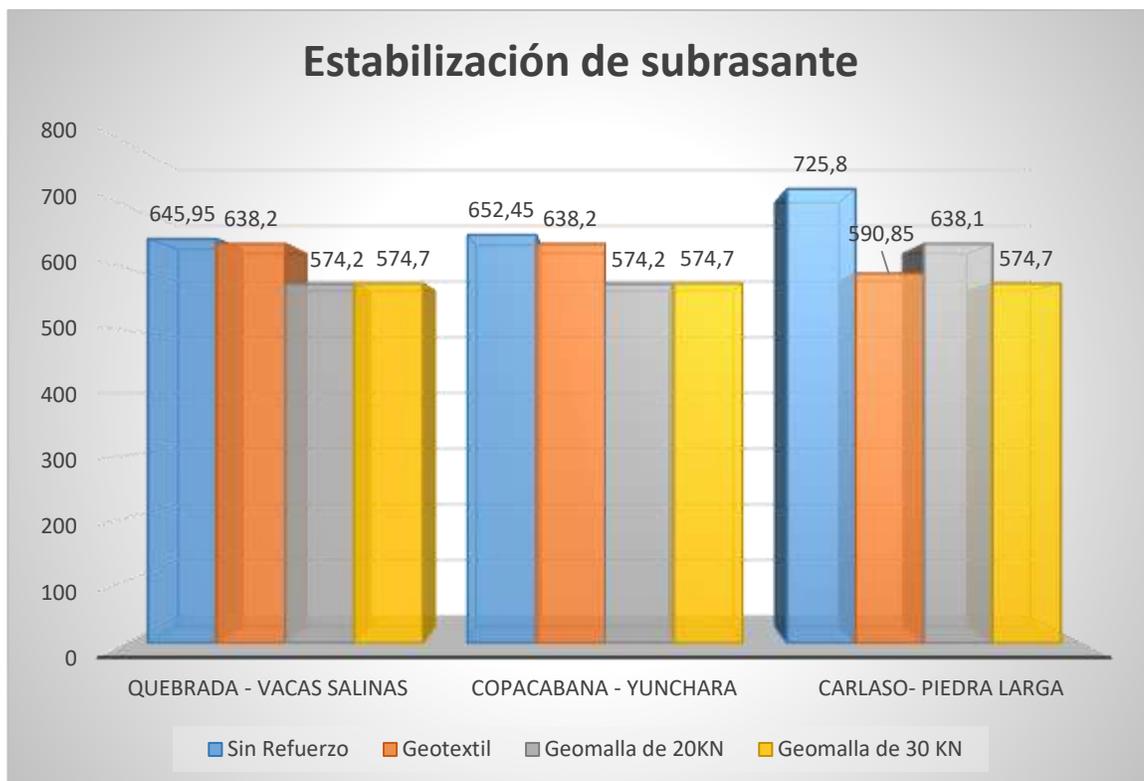


Fuente: Propia

Como se observa en el cuadro, se compararon los costos de las opciones propuestas para el módulo analizado, del cual se observa que en cuestión de costo la carpeta asfáltica sin refuerzo es la más cara, en cambio usando el material geosintético que para este caso es la geomalla de dos diferentes tipos; tipo P-BX11 (20 kn) y P-BX12 (30 kn) nos da un valor en costo de construcción mucho más económico que el proyectado sin refuerzo alguno. Teniendo en cuenta que nuestra mejor opción en cuanto a costo es usar la geomalla del tipo P-BX11 (20 kn).

Además que este análisis sólo está tomando en cuenta la parte económica dejando a un lado los beneficios que nos ofrecen dichos materiales de refuerzo.

Fig. 4-85 Análisis Económico Modulo 2



Fuente: Propia

En la segunda comparación de costos para cada tramo; se analizó el segundo módulo que es estabilización de subrasante con material geosintético y se tiene como mejor opción en bajo costo económico ala geomalla del tipo P-BX11 (20 kn) y nos muestra como la carpeta asfáltica sin refuerzo alguno tiene un costo mucho más elevado para los tres tramos analizados.

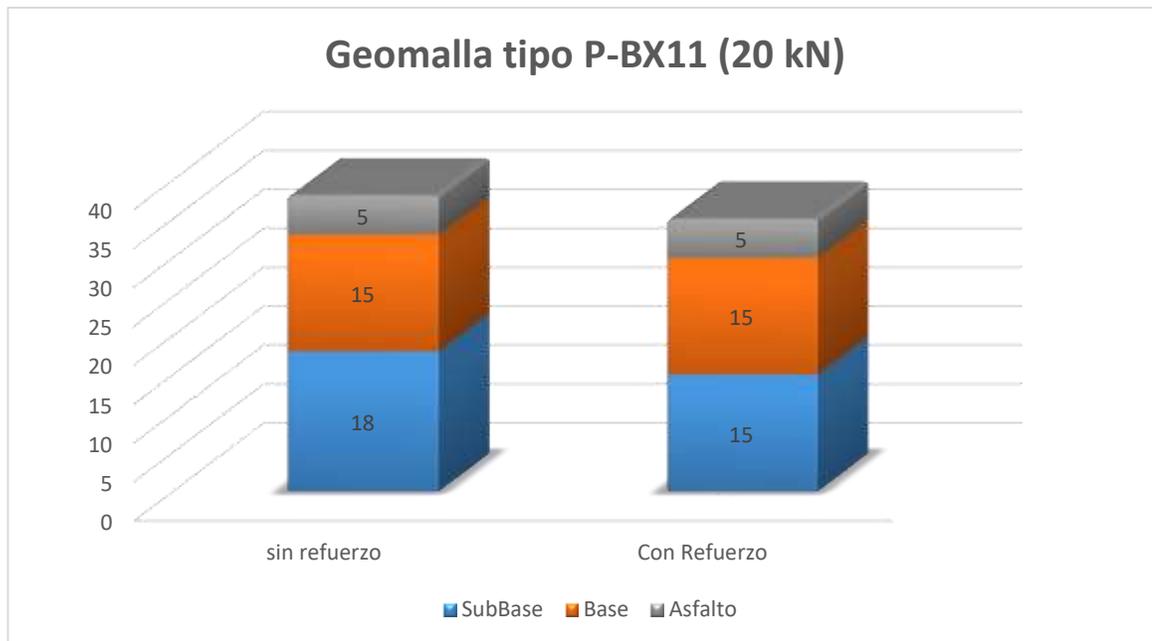
4.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS.-

El análisis de resultados se hara para los dos módulos usados en material de subrasante y para las capas granulares de base y subbase.

- a) Se empezará analizando el primer módulo refuerzo con geomallas biaxiales coextruidas:

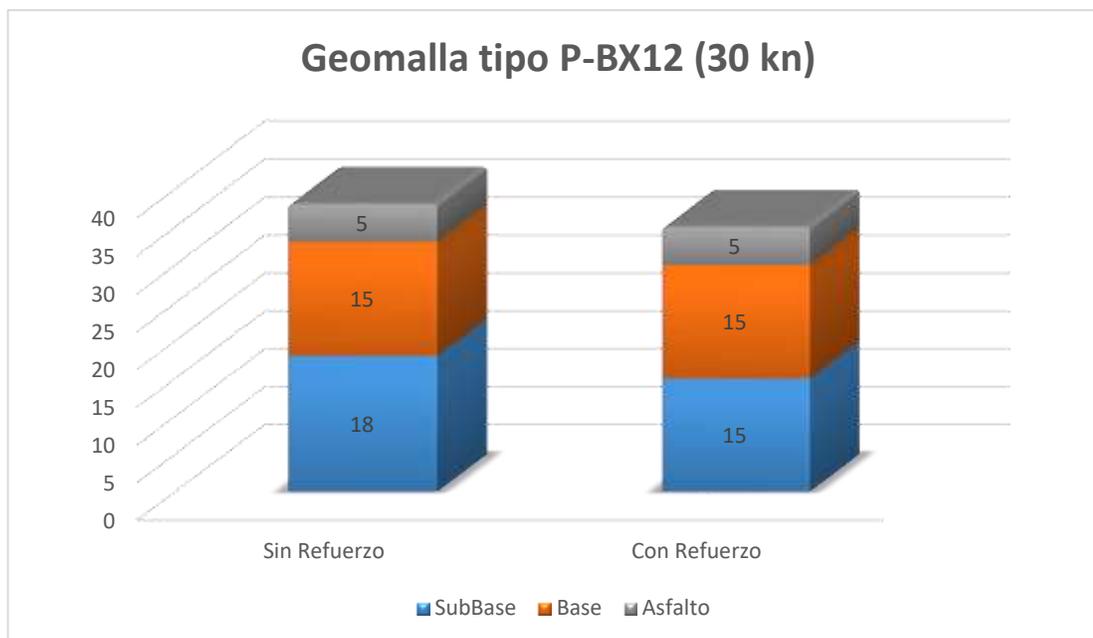
- Tramo Quebrada las Vacas Salinas:

Fig. 4-86 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo



Fuente: Propia

Fig. 4-87 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo

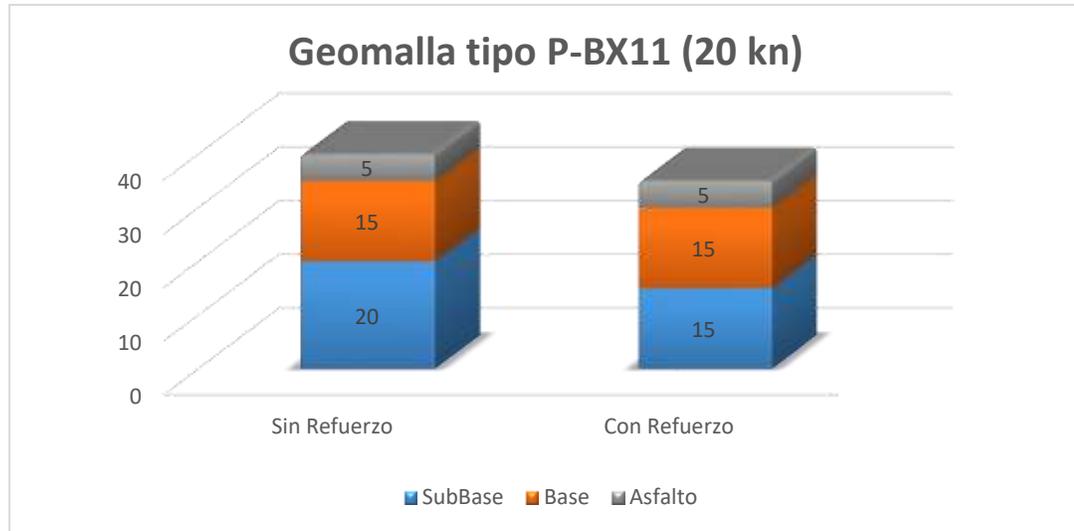


Fuente: Propia

Para el primer tramo Quebrada las Vacas Salinas utilizamos los dos tipos de geomalla que presenta el programa tipo P-BX11 (20Kn) y P-BX12 (30kn), con lo cual se observa en ambas graficas una reducción de la capa subbase en 3 cm en este caso ambos materiales reducen el mismo espesor a la capa granular. Y ambos refuerzos brindan las mismas propiedades de aumentar la capacidad de carga, resistencia al corte, resistencia a la tensión, brindan mayor rigidez y distribuyen las fuerzas sobre toda la superficie. Por lo tanto escogeremos como geosintético de refuerzo a la geomalla P-BX11 (20 kn), además de ser de menor costo.

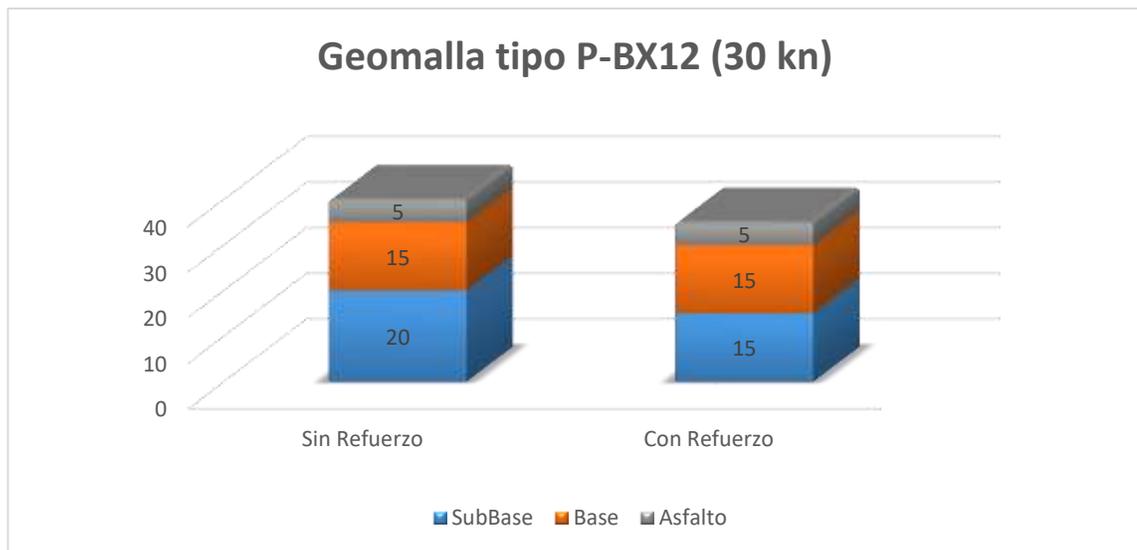
- Segundo Tramo Copacabana - Yunchara:

Fig. 4-88 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo



Fuente: Propia

Fig. 4-89 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo

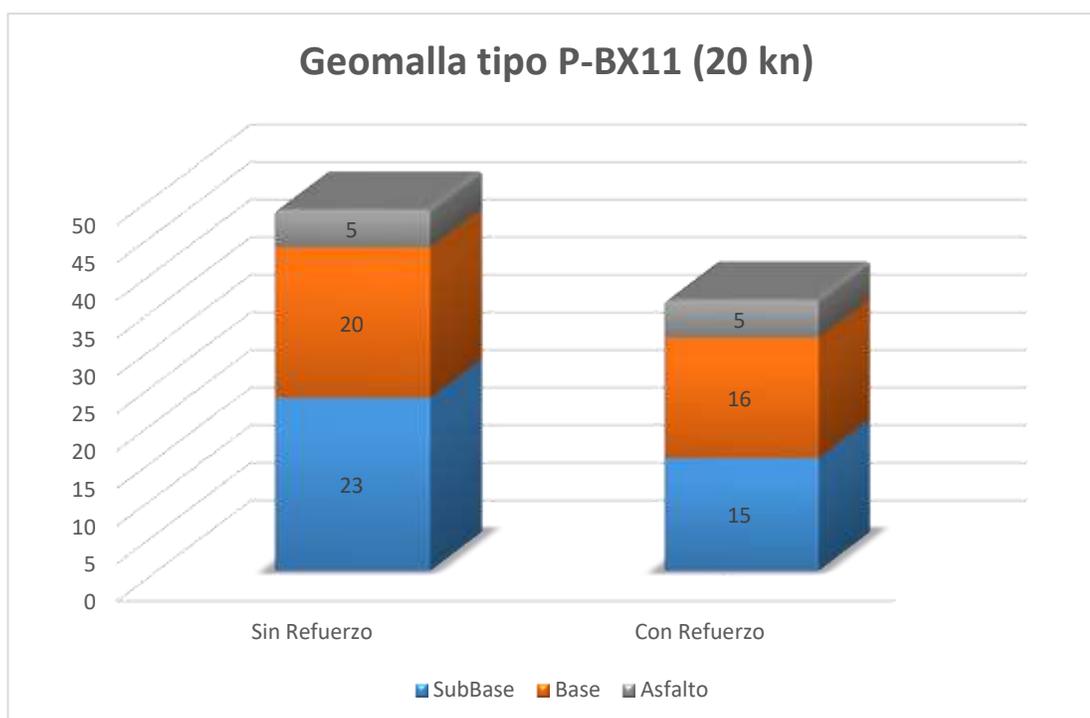


Fuente: Propia

Para este segundo tramo también se analizó con ambos tipos de geomalla que presenta el programa, en este caso la reducción de la capa subbase es de 5 cm con los dos tipos de geomalla utilizados como refuerzo para la subrasante. Con lo cual escogemos como material de refuerzo a la geomalla tipo P-BX11 (20 kn) ya que también aumenta la capacidad de carga, resistencia a la tensión, brinda mayor rigidez y estabilidad al suelo y reduce en la misma proporción a la capa subbase.

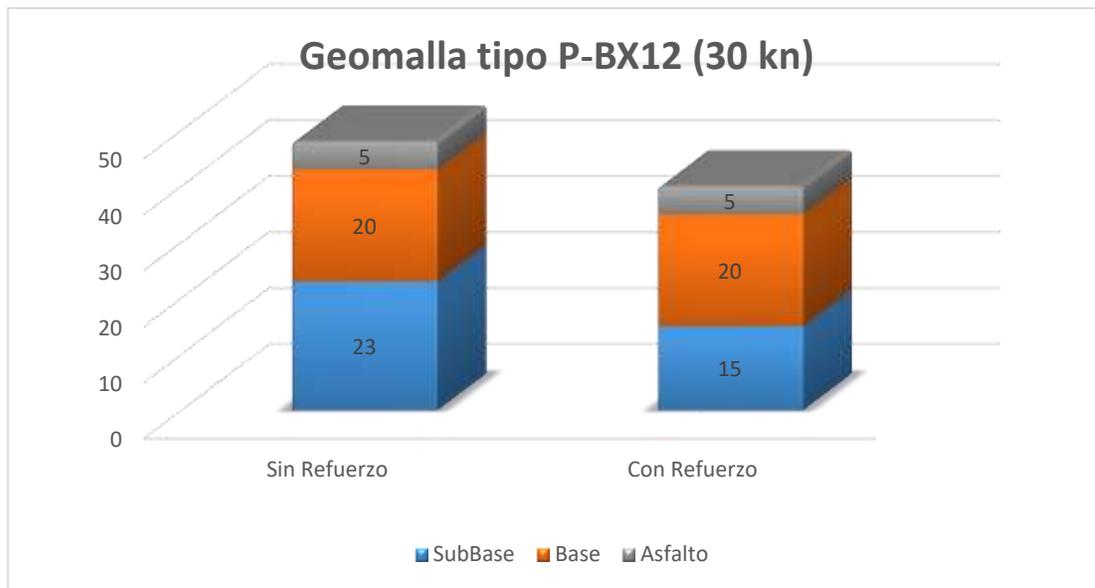
- Tercer Tramo Carlaso - Piedra Larga:

Fig. 4-90 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo



Fuente: Propia

Fig. 4-91 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo



Fuente: Propia

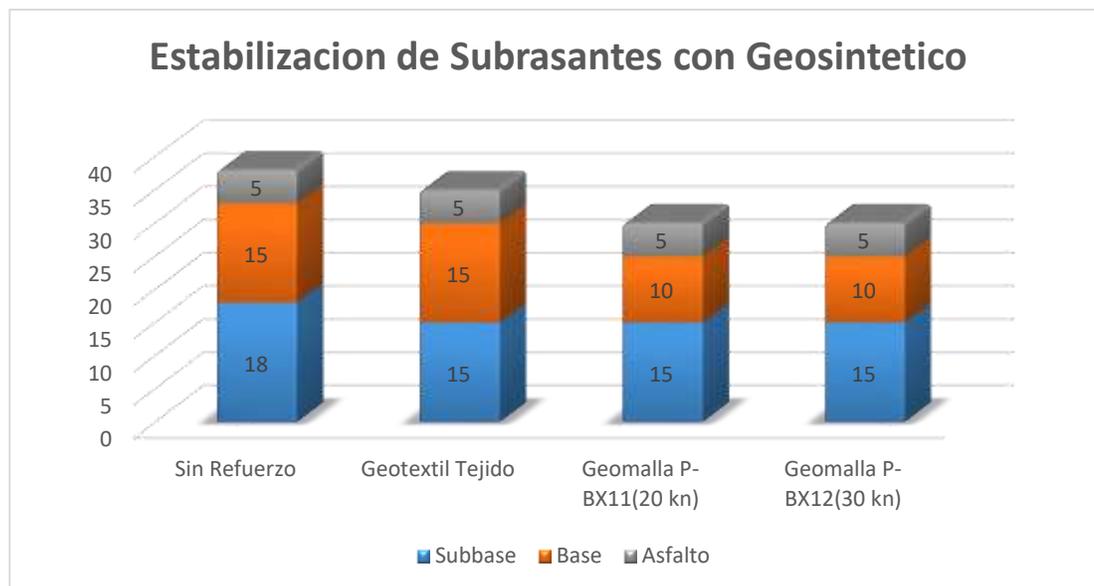
En este tercer tramo donde las capas granulares de base y subbase son de mayor espesor que en anteriores tramos, nos presenta una variación de espesores según el tipo de geomalla que se usó. Para la geomalla P-BX11 (20kn) nos reduce 4 cm de la capa base y 8 cm de la capa subbase; la geomalla P-BX12 (30 kn) nos reduce solo el espesor de la capa subbase en 8 cm.

Tomando en cuenta el porcentaje de reducción de los espesores de las capas granulares se decide optar por la geomalla P-BX11 (20 kn), además de ofrecer de la misma manera la resistencia a la tensión, al corte, estabilidad del suelo y ser de menor costo.

- b) Seguidamente se analizará el segundo módulo Estabilización de subrasante con material Geosintético:

- Tramo Quebrada - las Vacas Salinas:

Fig. 4-92 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo



Fuente: Propia

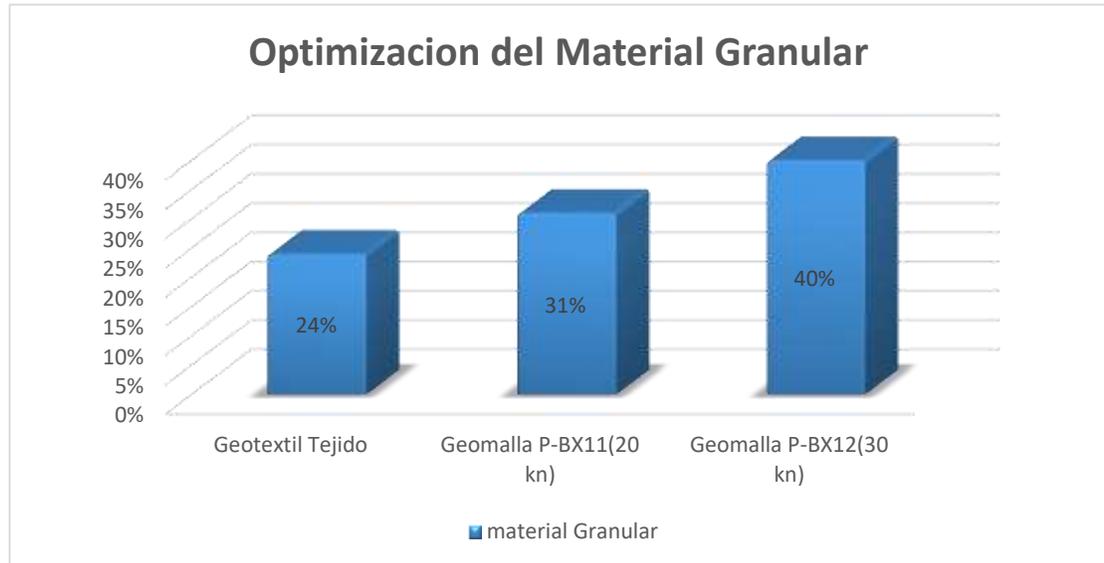
Para nuestro segundo módulo, el programa nos brinda tres tipos de material de refuerzo geosintético para ser analizado, los cuales da como resultado la reducción de los espesores de las capas granulares, así como vemos en la gráfica anterior. Según este análisis, nuestra mejor opción de refuerzo es la geomalla tipo P-BX11 (20 kn), ya que reduce la capa subbase en 5 cm y económicamente es un material más barato y nos brinda propiedades físicas y mecánicas que aportan al refuerzo del suelo granular.

A continuación se muestra la optimización que se da al introducir como materia de refuerzo el geosintético a las capas granulares, donde se observa un incremento en la optimización del material según el tipo de geosintético usado.

Dándonos a conocer que la geomalla tipo P-BX12 (30 kn) optimiza el material en un 40 %. Pero el costo del material es un poco elevado, por lo tanto nos quedamos

con la opción de la geomalla tipo P-BX11 (20 kn), la cual nos brinda una optimización de material del 31%, como se muestra en el siguiente gráfico:

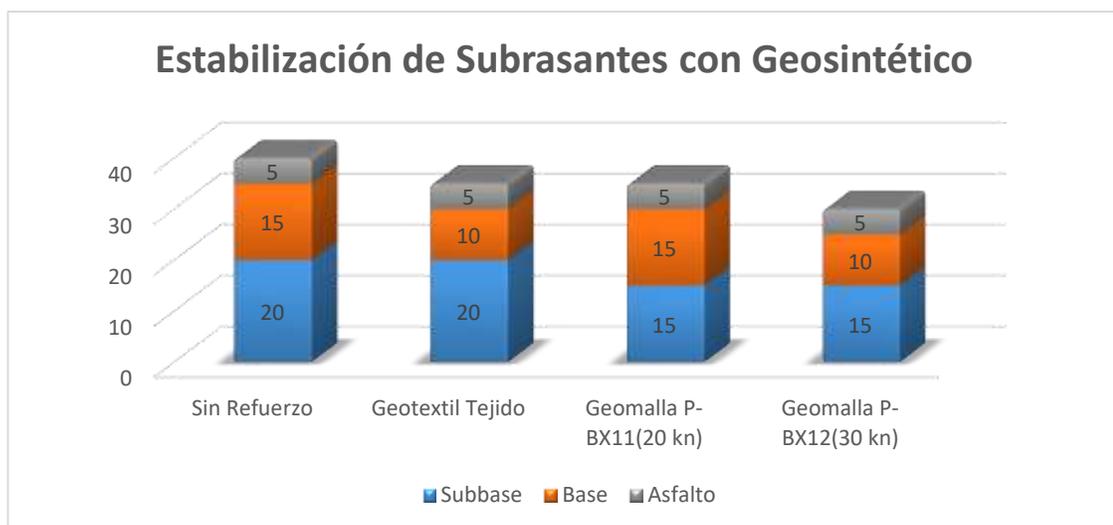
Fig. 4-93 Optimización del Material Granular



Fuente: Propia

- Tramo Copacabana - Yunchará:

Fig. 4-94 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo



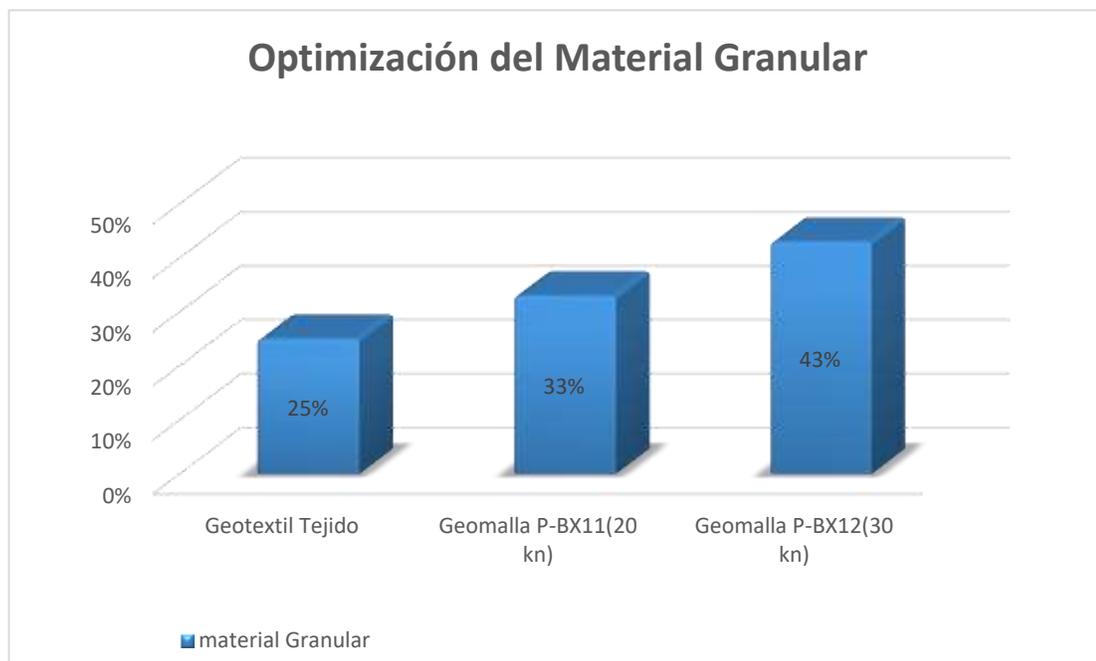
Fuente: Propia

Teniendo en cuenta que para este tramo los espesores de la capa subbase aumenta también se analizó con los tres tipos de geosintéticos que nos presenta el programa, mostrándonos que la geomalla tipo P-BX12 (30 kn) reduce en mayor proporción las capas de base y subbase dejando con un espesor final de 10 cm para la base y 15 cm para subbase.

Seguidamente, se presenta la optimización del material granular con cada tipo de geosintético analizado, dando como resultado el mayor porcentaje en optimización de material granular, el uso de la geomalla tipo P-BX12 (30 kn), con un 43%.

La desventaja de esta geomalla es el valor económico que conlleva su uso, por lo tanto se opta por utilizar la geomalla tipo P-BX11 (20 kn) ya que también nos reduce la capa subbase en 5 cm y nos optimiza el 33% de material granular además de ser de menor precio. A continuación se muestra la gráfica de optimización de material granular:

Fig. 4-95 Optimización del Material

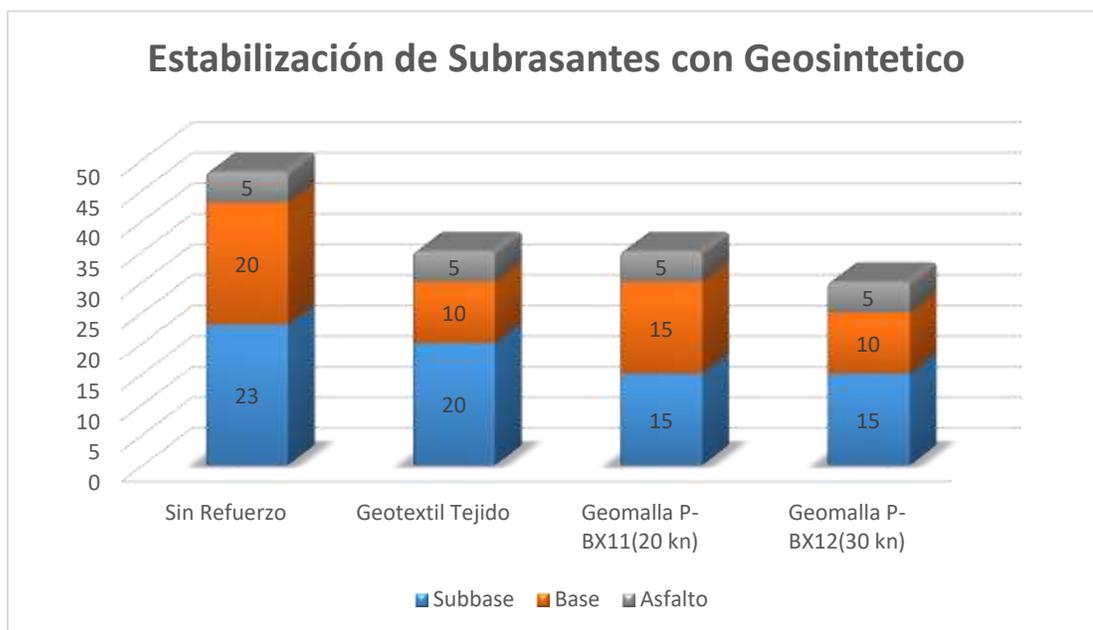


Fuente: Propia

A) Tramo Carlaso - Piedra Larga:

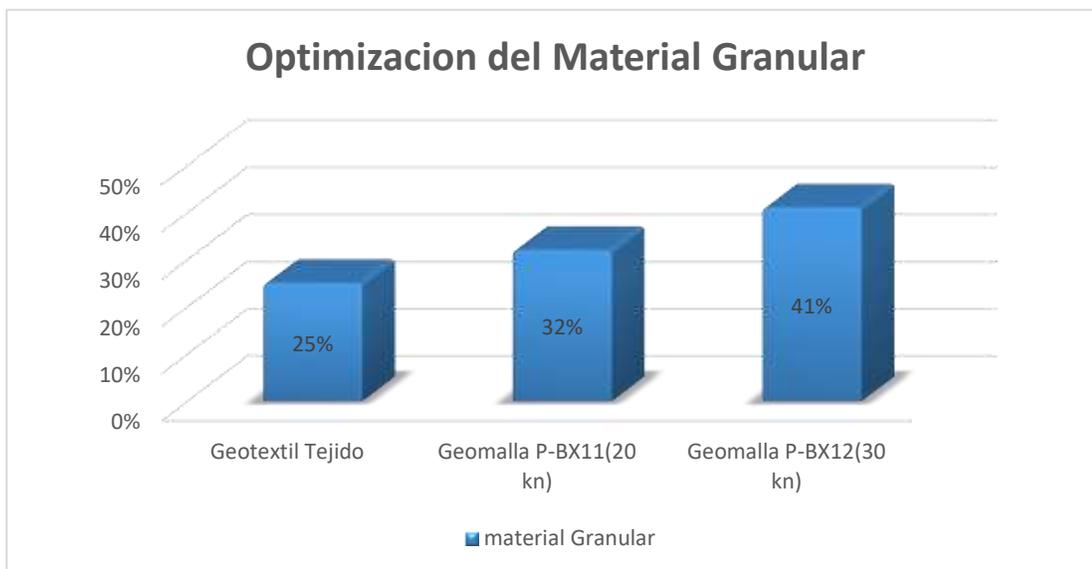
Para el último tramo en análisis se aumenta el espesor de las capas granulares, se analiza cada geosintético que nos ofrece el programa y tenemos como mejor opción la geomalla tipo P-BX12 (30 kn), la cual reduce el espesor de 8 cm en capa subbase y 10 cm en capa base optimizando en un 41% el material granular, por lo tanto teóricamente sería la mejor opción a usar este tipo de geomalla, pero, económicamente no es la mejor opción.

Fig. 4-96 Espesores de la Estructura con y sin Refuerzo



Fuente: Propia

Tratando de esta manera la parte económica se elige como material de refuerzo a la geomalla tipo P-BX11 (20 kn) ya que económicamente es más barato y reduce en un 5 cm la capa base y en 8 cm la capa subbase, optimizando de esta manera el 32% del material granular.

Fig. 4-97 Optimización del Material

Fuente: Propia

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.-

Luego de realizar la aplicación práctica de los tres módulos de refuerzo para la capa subrasante con el proyecto estudiado se arribo a las siguientes conclusiones:

- Primeramente se cumplió con el objetivo general de realizar la aplicación del software GEOSOF 3.0 de dimensionamiento y refuerzo de pavimentos con material geosintético.
- De acuerdo al análisis de refuerzo de capa subrasante y separación de capas granulares realizado en los tres tramos de estudio podemos establecer las siguientes ventajas y desventajas de la aplicabilidad de los módulos.

Módulos	Ventajas	Desventajas
Refuerzo en vías empleando Geomalla Biaxial Coextruida	<ul style="list-style-type: none"> - Se complementaron los datos de diseño de pavimento. - Se calculó un nuevo espesor de capa subbase. - La geomalla de refuerzo aumenta la capacidad de carga para suelos blandos, aumenta la resistencia a la tensión, incrementa resistencia al corte, brinda mayor rigidez y estabilidad al suelo, y distribuye las fuerzas sobre la superficie. - El valor económico para usar como material de refuerzo - Económicas ya que nos aminora el gasto de la construcción de la estructura de pavimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - No analiza la vida útil del pavimento con el refuerzo.

<p align="center">Estabilización de Subrasante con Geosintéticos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se completaron los datos de entrada de tráfico y CBR del material. - Reduce el espesor de las capas granulares optimizando el material. - Los materiales geosintéticos tienen propiedades de refuerzo como aumento de la capacidad portante, resistencia al corte, a la tensión, aumento de carga y distribución de fuerzas. - La construcción de la estructura de pavimento económicamente es menor que la proyectada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Si se introduce mal los datos de entrada los resultados serán erróneos. - No hace el análisis con ninguna norma de diseño.
<p align="center">Separación de Capas Granulares y Subrasante</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Se completó los datos de diseño y tipo de suelo. -Calcula los criterios mecánicos verificando si cumple la condición de diseño. -Revisa datos según criterio de supervivencia de la AASHTO y normas INVIAS. -Propone tipo de geotextil que cumpla con criterios mecánicos, criterios de retención, de permeabilidad y factor de seguridad global. - El material geotextil presenta propiedades de refuerzo, de estabilidad, aumenta la capacidad portante. 	<ul style="list-style-type: none"> -No presenta valores de espesores de las capas del pavimento con refuerzo de material geosintético.

- Se realizó el refuerzo de las capas granulares del pavimento con tres módulos del software, utilizando los datos de entrada de proyectos en tres tramos distintos que se están ejecutando en la ciudad de Tarija; los resultados de la reducción en el espesor de pavimento de cada tramo son los siguientes:

Tramos	Capas Granulares	Módulo 1		Módulo 2	
		Sin refuerzo (cm)	Con refuerzo (cm)	Sin refuerzo (cm)	Con refuerzo (cm)
Quebrada las Vacas Salinas	Asfalto	5	5	5	5
	Base	15	15	15	15
	Subbase	18	15	18	15
Copacabana Yunchara	Asfalto	5	5	5	5
	Base	15	15	15	10
	Subbase	20	15	20	15
Carlaso Piedra Larga	Asfalto	5	5	5	5
	Base	20	16	16	10
	Subbase	23	15	15	15

- Se observa en los resultados obtenidos que hubo una reducción del espesor de las capas granulares debido a la implementación de los materiales geosintéticos de refuerzo.
- Con el análisis de las variables de entrada se llega a la conclusión que los parámetros de mayor relevancia para la variación del espesor de pavimento son los parámetros de diseño, CBR del material, el tráfico y la confiabilidad, ya que al variar estos parámetros el resultado del espesor de capas granulares disminuye.
- En el procesamiento de acuerdo a la investigación realizada tenemos las siguientes conclusiones:

- Los procesos son únicos, ya que están basados en distintas teorías y modelos matemáticos.
- De acuerdo a los resultados se observa que la metodología que usa el módulo de estabilización de subrasantes con material geosintético muestra cuánto será la optimización del material reducido en el espesor de las capas granulares.
- En el módulo de separación de capas granulares el procesamiento de análisis se realiza comprobando criterios de supervivencia de la AASHTO y de las normas INVIAS, escogiendo el tipo de geotextil tejido o no tejido adecuado para ser instalado en conjunto con el espesor de material granular, de manera tal que se logre estabilizar la subrasarante, logrando una plataforma de trabajo que permita las actividades propias de la construcción de un vía.

5.2 RECOMENDACIONES.-

A continuación se detallan algunas recomendaciones:

- Primeramente se recomienda que antes de realizar el diseño de refuerzo para subrasantes utilizando alguno de los módulos estudiados se debe verificar todos los valores introducidos de los parámetros de entrada antes de realizar el diseño, y así poder obtener un espesor de pavimento buscado para un grupo de parámetros de entrada de un proyecto en particular.
- Para realizar un diseño óptimo se recomienda que se debe tener toda la información del proyecto, para que la adopción de los valores de parámetros de entrada que se adopten sea de forma óptima y se obtenga valores coherentes en los resultados.
- Para realizar el análisis con el módulo de separación de capas granulares con material geosintético se recomienda tener todos los ensayos de suelos para poder introducir los parámetros de entrada según el tipo de suelo que se esté analizando.

