

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La utilización de geosintéticos dentro de una estructura de pavimento, permite formular soluciones estratégicas que mejoran sensiblemente la relación beneficio – costo, especialmente en proyectos viales que atraviesan zonas de suelos de baja competencia mecánica. Estos materiales se caracterizan por otorgar una rápida y alta capacidad de refuerzo y controlan las deformaciones.

Los geosintéticos al ser parte de la subestructura granular de un pavimento, mejoran el desempeño de los materiales, logrando una mejor interacción suelo estructura que se traduce en incrementos en el aporte estructural y mayor vida útil.

En laboratorio se necesitará el equipo de compactación, equipo de hinchamiento y prueba de penetración de la muestra y este último que es el más importante el de penetración porque este nos ayudará para realizar la evaluación.

Los ensayos de CBR, se realizarán en los diferentes tramos: Carachimayo – Sella Méndez, Santa Barbara – Tucumillas, Tolomosa – San Andrés y Impora – San Juan que pertenecen a vías terciarias no pavimentadas.

Con esta investigación se determinara la evaluación del uso de los geosintéticos para mejorar las vías terciarias no pavimentadas ya que como no son vías primarias o secundarias, son tomadas como menos importantes y por eso casi todas las vías terciarias son de ripio, grava o algún tipo de suelo, estas vías no se hacen con una estructura de pavimento porque tendría un alto costo y como son carreteras poco transitadas no se ve necesario realizar el pavimentado, mientras que con los geosintéticos se requiere generar mayor durabilidad a las estructuras viales, reduciendo los costos de mantenimiento, reducir el costo de la construcción de la vía terciaria y es más que suficiente las propiedades que se mejoran para el uso en una vía terciaria no pavimentada para su transitabilidad mínima que tienen estas.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el posterior trabajo en el que utilizaremos geosintéticos los geotextiles, como refuerzo en la estructura del suelo en las vías terciarias no pavimentadas, se realizará la evaluación de las mejoras de las vías terciarias no pavimentadas para brindar un mejor servicio a la comunidad que utilizan estas vías terciarias no pavimentadas que es lo más importante de este trabajo.

Los geosintéticos son materiales que brindan muchos beneficios a la vida útil de las redes viales, dándoles mayor durabilidad y resistencia. Todos los estudios han demostrado que la interacción de los geosintéticos y el agregado minimiza el movimiento lateral de las partículas de agregado e incrementa la capacidad de carga del material, lo que conlleva a una mejor distribución de los esfuerzos normales reduciendo consecuentemente las deformaciones verticales en la subrasante.

La aplicación de geosintéticos está presente en el mejoramiento de la transitabilidad y utilidad de las vías en este caso vías terciarias no pavimentadas, y están subdivididas de acuerdo a sus funciones que se aplican desde el drenaje, resistencia de los suelos.

Demonstraron que la profundidad de colocación del geosintético y su rigidez afectaban significativamente el grado de interacción con el material granular.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1 Situación problemática

En la actualidad en el país existen muchas vías terciarias que son de la red municipal que no son pavimentadas y que están en mal estado y esto genera muchas deficiencias como ser:

La deficiencia de la mala intercomunicación terrestre que se tiene con estas vías no pavimentadas que afecta a los municipios, genera efectos negativos en la productividad y competitividad de la región, aumento de los tiempos de viaje y un efecto directo en el incremento de los costos de operación.

Estas deficiencias también pueden afectar el traslado de pacientes hacia los hospitales o centro de salud, inasistencia de estudiantes a escuelas y colegios y pérdida o sobrecostos de los productos que se comercializan en la región.

Por eso es necesario que la comunidad cuente con mejores vías para desplazarse en las diferentes zonas de sus municipios, con lo cual se genera ahorros en transporte, poder comercializar sus productos y acceder a servicios como salud y educación.

1.3.2 Problema

¿Cuál será la influencia del uso de geosintéticos como refuerzo en la estructura del suelo de las vías terciarias no pavimentadas, en sus propiedades mecánicas?

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto en las propiedades mecánicas, del suelo de la vía terciaria no pavimentada, utilizando como refuerzo los geosintéticos (Geotextiles), con los ensayos de laboratorio requeridos comparando los resultados del suelo natural con los del suelo mejorado de la vía terciaria no pavimentada, para ver que efecto tiene este material en este tipo de vías.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar las funciones de los geosintéticos para su uso en redes viales.
- Determinar la caracterización del suelo de la vía terciaria no pavimentada.
- Realizar los ensayos en laboratorio de las propiedades mecánicas (resistencia). del suelo natural de la vía terciaria no pavimentada, como también del suelo de la vía terciaria no pavimentada con refuerzo de geosintético.
- Comparar las propiedades mecánicas, del suelo natural de la vía terciaria no pavimentada sin geosintético, con el suelo de la vía terciaria no pavimentada mejorado con geosintético.

- Evaluar los resultados de los ensayos de las dos pruebas con y sin geosintético, para ver si se mejoró o no las propiedades del suelo de la vía terciaria no pavimentada y plantear las conclusiones y recomendaciones.

1.5 HIPÓTESIS

Si utilizo un material geosintético (geotextil) para reforzar el suelo de una vía terciaria no pavimentada, entonces el suelo experimentara un cambio en sus propiedades mecánicas.

1.6 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La siguiente investigación busca estudiar el comportamiento que tendrán las propiedades de resistencia de los suelos de las vías terciarias no pavimentadas reforzándolas con el material geosintético con la finalidad de mejorar sus propiedades de resistencia.

Para el estudio lo que se hará es lo siguiente, se conseguirá el suelo (material de estudio) de 4 tramos de vías terciarias no pavimentadas que será el objeto de estudio, se realizará la caracterización y su clasificación para saber qué tipo de suelo estamos utilizando, también se conseguirá el material geosintético. Una vez clasificados los suelos y teniendo el material geosintético se comienza a realizar las pruebas de penetración del suelo reforzado con el geosintético en diferentes combinaciones que serían las siguientes: refuerzo de geosintético en la capa subrasante, refuerzo de geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura y refuerzo de geosintético en medio de la capa de rodadura.

Una vez realizado estos ensayos se procederá a realizar el análisis y comparación de los resultados del suelo natural con el suelo reforzado con el material geosintético.

1.7 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

1.7.1 Variables independientes

Las vías terciarias no pavimentadas que son de la red departamental y municipal.

Tabla 1.6.1 Variable independiente.

Variable	Concepto	Forma de medición	Unidad
Materiales	Son las muestras de suelo de la vía terciaria no pavimentada.	Se medirá con equipo de pesaje.	kilogramo (kg)

Fuente: Elaboración propia.

1.7.2 Variables dependientes

Propiedades mecánicas en los pavimentos de vías terciarias, con el uso de geosintéticos (geotextiles).

Tabla 1.6.2 Variable dependiente.

Variable	Concepto	Forma de medición	unidad
Esfuerzo	Esfuerzo que resiste a 0.2 “	Se realizará en laboratorio.	kg/cm ²
CBR	La resistencia que tendrá el suelo luego de mejorar con los geosintéticos	El ensayo de “california bearing ratio” o CBR	%

Fuente: Elaboración propia.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

1.8.1 Componentes

1.8.1.1 Unidad

La unidad del presente proyecto es única, y es el suelo utilizado de los diferentes tramos de las vías terciarias no pavimentadas.

1.8.1.2 Población

Uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas.

Se realizarán los ensayos correspondientes para ver las propiedades mecánicas de los geosintéticos que se usarán como refuerzo en las vías terciarias no pavimentadas.

1.8.1..3 Muestra

Se realizará la evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias para los materiales de los tramos; Carachimayo – Sella Méndez, Santa Bárbara – Tucumillas, Tolomosa – San Andrés y Impora – San Juan.

Para cada tramo ya mencionados se tomará una cantidad de material para realizar la parte caracterización del mismo y también se usará para realizar la evaluación con geosintético, en cada tramo se realizará 3 probetas con 2 tipos distintos de geosintéticos para cada punto de extracción del material y así se tendrá 6 probetas en total para cada punto de cada tramo y que nos servirán para realizar la evaluación de la vía terciaria no pavimentada con refuerzo de geosintético.

1.8.1..4 Muestreo

Se utilizará material de subrasante y de la capa de rodadura; El material se lo conseguirá extrayendo de los tramos ya mencionados anteriormente para cada punto de cada tramo se necesitarán unas cantidades adecuadas para realizar los ensayos de caracterización como también para realizar los moldes para la evaluación de las vías terciarias no pavimentadas con refuerzo de geosintético. (60 a 70 kg)

Se utilizarán los geotextiles como material de refuerzo; La cantidad de geosintéticos será de 1m a 2 m por cada tipo. El geosintético tipo 1 se lo compro (PAVCO), el geosintético tipo 2 se lo obtuvo como donación para realizar el proyecto de (SEDECA-TARIJA)

1.9 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.9.1 Método inductivo

Es el proceso por el cual se identifica una relación universal a partir de sucesivos casos particulares.

El inductivismo va de lo particular a lo general. Es un método que se basa en la **observación, el estudio y la experimentación** de diversos sucesos reales para poder llegar a una conclusión que involucre a todos esos casos. La acumulación de datos que reafirmen nuestra postura es lo que hace al método inductivo.

Para la evaluación de las vías terciarias no pavimentadas mejoradas con geosintéticos, se realizó el ensayo de CBR, diferentes tramos de la red municipal, departamental.

Se realizará la evaluación con los datos para ver si mejoro o no las características mecánicas de la vía terciaria no pavimentada.

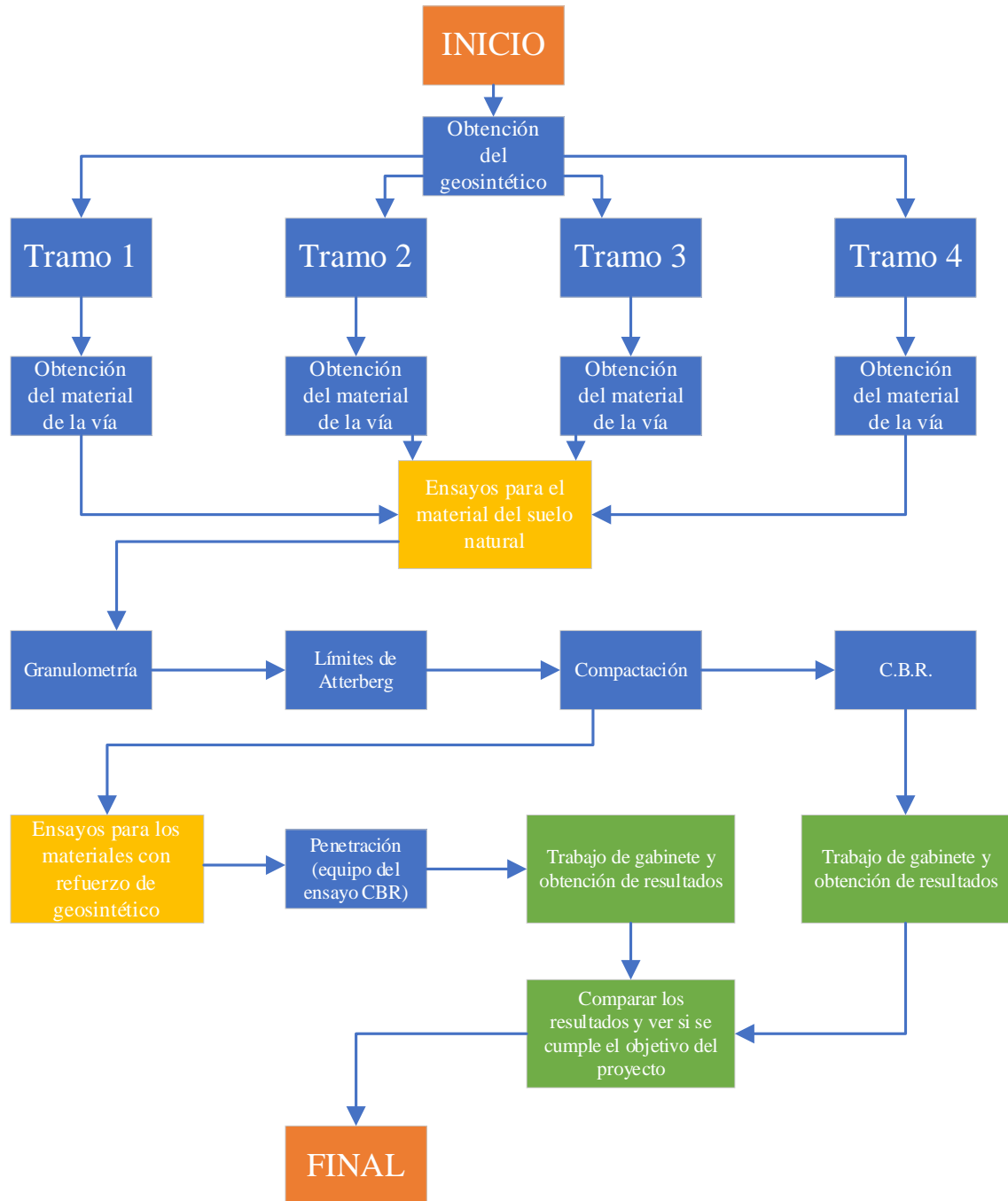
1.9.2 Técnicas

1.9.2.1 Técnicas experimentales en laboratorio

Llamamos "técnicas experimentales" a las maneras específicas de recolección de datos (incluyendo presentación de estímulos y registro de respuestas), es decir, los diversos procedimientos y tareas experimentales que permiten obtener los datos que serán analizados e interpretados.

Referente al proyecto se realizaron los ensayos de laboratorio correspondientes y se tendrán datos, resultados y con estos se podrá definir si es conveniente el uso de los geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas

1.10 PROCESO DE APLICACIÓN



CAPÍTULO 2

ASPECTOS GENERALES SOBRE VÍAS NO PAVIMENTADAS Y REFUERZO CON GEOSINTÉTICOS

2.1 MATERIALES GEOSINTÉTICOS

Los materiales geosintéticos son los fabricados a partir de varios tipos de polímeros derivados del petróleo y que son usados para mejorar y hacer posible la ejecución de ciertos proyectos de construcción de ingeniería civil y geotécnica, como anticontaminación, redistribución de esfuerzos, refuerzo de tierra, filtración, drenaje, protección, control de la permeabilidad y otras funciones.

Los geosintéticos son productos de última tecnología, cuyo campo de acción abarca temas como el control de la erosión, drenaje y filtración, o relleno sanitario, entre otros.

2.1.1 Uso de los geosintéticos en el mundo

El uso de geosintéticos ha brindado a la ingeniería un amplio rango en el cual puede mejorar sus posibilidades de acción cuidando los recursos naturales y utilizando los materiales granulares de manera óptima. Esto constituye una mejora en el campo económico de la materia en la medida en que el gasto, relacionado con la producción, comercialización y uso de los geosintéticos, aumenta constantemente.

En todos los países en donde se encuentra difundido su uso, una cantidad cercana al 90% de las obras viales emplea algún tipo de geosintético para mejorar las condiciones de obra; ya sea reduciendo costos, mejorando especificaciones técnicas o solucionando inconvenientes presentados por los materiales naturales.

Es evidente que este porcentaje depende significativamente del tipo de proyectos construidos y el grado de penetración de la tecnología de los geosintéticos en la ingeniería local.

2.1.2 Tipos de materiales geosintéticos

Se dividen principalmente en geotextiles, geomallas y geomembranas, aunque existen algunos otros como las geoceldas y otras variedades de geosintéticos.

2.1.2..1 Geotextiles

Un geotextil es una malla compuesta por fibras poliméricas, como (poliéster y polipropileno), que cumplen con la misión de reforzar los suelos, controlar la erosión y filtración de los mismos, considerando a su vez el uso o función con la que se deseen desempeñar las mismas. Los ‘geotextiles’ también son muy útiles para emplear separaciones de capas de materiales, que permiten proteger las geomembranas al funcionar como una especie de red de drenaje.

Estas telas son altamente permeables y flexibles, gracias a que son fabricadas mediante un sistema tejido y no tejido, que básicamente consiste en la técnica con la que es tejida la malla. En estas se puede emplear las fibras en dos direcciones o entrelazadas a través de un filamento continuo.

2.1.2..1.1 Geotextil no tejido

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras.

Un geotextil no tejido en 120-150 gramos por metro cuadrado es lo mejor para el drenaje. Esto es para que la tela mantenga una velocidad de flujo alta para permitir que el agua pase sin obstrucción. Estos grados ligeros se utilizan especialmente para drenajes de zanjas. Hace muchos años, las telas tejidas se usaban para el drenaje, pero se han reemplazado por no tejidos para esta aplicación.

Se utiliza un geotextil no tejido en 140 gramos por metro cuadrado para la separación y el refuerzo del suelo y también para aplicaciones ambientales como la amortiguación entre una geomembrana (revestimiento) y tierra o roca. Los geotextiles no tejidos a menudo se usan en aplicaciones de control de erosión y se colocan entre la roca y el suelo. Debido a la naturaleza de un peso pesado, el agua no tejida se puede distribuir de manera uniforme y efectiva sin crear erosión que normalmente tendría lugar debajo de la roca sin un geotextil no tejido en su lugar.

Los geotextiles no tejidos no son particularmente efectivos en la exposición a rayos UV a largo plazo a menos que sean muy pesados y con la adición de estabilizadores UV.

Nuestros geotextiles no tejidos de grado de rodeo negro general tienen aproximadamente 12 meses de protección UV.

2.1.2.1.2 Geotextil tejido

Un geotextil tejido se fabrica tejiendo polímeros planos hechos de polipropileno o polietileno. Suministramos solo geotextiles de polipropileno tejido. Dependiendo del peso, se usan como refuerzo o como separación entre la tierra y el agregado en caminos sin pavimentar. Estos tipos de telas generalmente no tienen grandes cualidades de drenaje. Otro tipo de tejido de geotextil tejido es el geotextil tejido de alta resistencia. Estos son grados muy pesados con buenas características de filtración y generalmente se miden por la resistencia en lugar del peso. Se puede usar un geotextil tejido de alta resistencia para fortalecer terraplenes, muros de contención, debajo de caminos entre suelos blandos y pavimento. Un geotextil de alta resistencia proporciona una combinación de alta filtración, alta resistencia y separación.

Figura 2.1.2.1 Geotextil



Fuente: <https://texdelta.com/blog/geotextil-tejido-usos-y-aplicaciones/>

2.1.2.2 Geomallas

Una geomalla es un geosintético hecho de un material polimérico. Las geomallas se forman tejiendo o tejiendo costillas que se cruzan con aberturas apropiadas (espacios abiertos para que quepan las costillas). Principalmente, una geomalla se usa para aplicaciones de refuerzo en varios tipos de proyectos de construcción, pero también se puede usar para aplicaciones de separación. Son rejillas abiertas que permiten que el suelo golpee a través de las aberturas y los dos materiales se entrelazan para dar un comportamiento compuesto. Hay una gran demanda de geomallas en la construcción

porque son buenas en tensión y tienen una mayor capacidad para distribuir cargas en un área grande.

Hay algunos tipos diferentes de geomallas que cumplen una función específica para la aplicación para la que se utilizan. Comprender las diferentes fortalezas que tiene cada tipo de geomalla es crucial para seleccionar la correcta para su proyecto.

2.1.2..2.1 Tipos de geomallas y sus aplicaciones

Hay tres tipos diferentes de geomallas: Uniaxial, Biaxial y Triaxial. Cada uno está diseñado y fabricado para aplicaciones de construcción específicas con diversas resistencias a la tracción.

2.1.2..2.1.1 Geomalla uniaxial

La geomalla uniaxial está diseñada con el propósito específico de soportar la tensión en una sola dirección. Se forman estirando las costillas en una dirección de longitud y su resistencia a la tracción se estira en la dirección de la máquina. Esto significa que son perfectos para aplicaciones tanto en paredes como en pendientes, como muros de contención, sistemas de revestimiento de vertederos, terraplenes sobre suelos blandos y pendientes de terraplenes más empinadas.

2.1.2..2.1.2 Geomalla biaxial

La geomalla biaxial está diseñada para tener un equilibrio igual de resistencia a la tracción tanto en la máquina como en las direcciones transversales. Esto le da a la geomalla la capacidad de distribuir cargas en un área más amplia de lo habitual, lo que aumenta su capacidad en aplicaciones de estabilización de bases. Las geomallas biaxiales se usan comúnmente en aplicaciones tales como cimientos para camas de caminos, plataformas de camiones ferroviarios, **caminos permanentes sin pavimentar**, pistas de aeropuertos, caminos de acarreo de construcción, plataformas de trabajo en subgrados débiles y estacionamientos.

2.1.2..2.1.3 Geomalla triaxial

Para proporcionar un nivel mejorado de rigidez en el plano, las geomallas Triax® están hechas de una lámina de polipropileno perforada orientada en múltiples direcciones

equiláteras para formar aberturas triangulares. Esto crea un producto más eficiente que ofrece una transferencia óptima de tensión en servicio desde el agregado a la geomalla.

Figura 2.1.2.2 Geomalla



Fuente: <https://www.geoaceperu.com/blog/que-es-una-geomalla-usos/>

2.1.2.3 Geomembranas

La geomembrana puede sonar como un experimento médico, pero sus usos y aplicaciones son variados y fascinantes. Las geomembranas son revestimientos de membrana sintéticos o barreras usadas para controlar la migración de fluidos en un proyecto, estructura o sistema hecho por el hombre. Están hechos de láminas poliméricas continuas relativamente delgadas que a veces se hacen de la infusión de geotextiles con asfalto, elastómero o aerosoles de polímeros. Esto significa que sus aplicaciones a la ingeniería geotécnica y otros clientes industriales son infinitas.

Las geomembranas se utilizan en aplicaciones medioambientales, hidráulicas, transportes, petróleo y gas, así como en la industria de residuos. El tipo más común son las láminas poliméricas continuas. Cuando se necesitan geomembranas más grandes, se funden térmica o químicamente en las costuras para mayor resistencia y durabilidad. El tamaño de la geomembrana es completamente personalizable, por lo que pueden ser tan pequeños como un estanque de peces de patio o tan grandes como un campo de fútbol si es necesario. Para tener una mejor idea de para qué se puede usar una geomembrana, estos son algunos de los usos más comunes.

- Como revestimientos para agua potable o de reserva (por ejemplo, cierre seguro de instalaciones nucleares)
- Como revestimientos de estanques de peces.

- Como revestimientos para líquidos de desecho (por ejemplo, lodos de aguas residuales).
- Residuos radiactivos o líquidos peligrosos.
- Como liners para la industria agrícola.
- Como revestimientos para diversos canales de transporte de residuos.
- Como revestimientos para rellenos sanitarios primarios, secundarios y / o terciarios y pilas de residuos.
- Como forros para aliviaderos de emergencia.
- Como revestimientos impermeabilizantes en túneles y tuberías.
- Para contener y transportar líquidos en camiones.
- Agua potable y otros líquidos en el océano.
- Debajo de carreteras para evitar la contaminación por ventas de deshielo.
- Debajo y adyacente a carreteras para capturar derrames de líquidos.

Básicamente, las geomembranas se usan donde no se puede permitir la pérdida de material, ya sea agua limpia, aguas residuales, vapor, tierra, materiales peligrosos o cualquier otra sustancia que no necesite escapar de su espacio designado. Debido a que los líquidos fluidos, acumulados, congelados y en pie (e incluso los vapores) pueden ser tan devastadores si no se administran adecuadamente, estas geomembranas han permitido a las industrias continuar desarrollando y apoyando muchos más proyectos de los que se hicieron anteriormente.

Figura 2.1.2.3 Geomembranas



Fuente: <https://www.geoaceperu.com/blog/que-es-una-geomalla-usos/>

2.1.2..4 Geoceldas

Las geoceldas son un material con estructura tridimensional en forma de panal la cual se adapta a la forma del lugar en el que se va a instalar, hecha a base de tiras perforadas de polietileno de alta densidad (HDPE) soldadas por extrusión en algunos puntos para formar celdas individuales se adapta a las variaciones de la superficie debido a su flexibilidad a la vez que es resistente a daños por impacto.

Las geoceldas tienen la finalidad de confinar el material con el que se rellene para lograr un sistema de control de erosión superficial, las paredes celulares son permeables al agua, aire y nutrientes, el aumento de la estabilidad y el rendimiento vegetativo. Una variedad de materiales de relleno, incluyendo suelos nativos y los agregados reciclados, se pueden utilizar para reducir el material de desecho y los costos generales de construcción.

La perforación de las geoceldas permite un eficiente comportamiento hidráulico y evita que se sature el material de relleno, Ideal para vegetar taludes donde el terreno es muy duro o rocoso ya que se logra conseguir el confinamiento y espesor adecuado de tierra vegetal para que pueda generarse vegetación. Conserva la vegetación al paso del caudal, reduciendo las velocidades para evitar la socavación en las paredes de los taludes, conservando la sección original del canal. No requiere mano de obra especializada para su colocación.¹

Figura 2.1.2.4 Geoceldas



Fuente: <https://www.geoaceperu.com/productos/geoceldas.html>

¹ <https://www.geoaceperu.com/>

2.1.3 Funciones generales de los geosintéticos

Básicamente existen dos funciones principales dentro de las funciones de los geosintéticos:

2.1.3..1 Funciones hidráulicas

- Drenar: permitir la circulación de un fluido en el plano de los geosintéticos.
- Filtrar: permitir la circulación de un fluido a través de los geosintéticos.
- Impermeabilizar: No permitir el paso de un fluido a través de los geosintéticos.

2.1.3..2 Funciones mecánicas

- Separar: no permitir en ningún momento la mezcla de distintos tipos de suelo.
- Reforzar: aumentar la resistencia mecánica en el terreno.
- Proteger: producir un efecto “colchón” sobre las láminas de impermeabilización, protegiéndolas contra posibles punzonamientos.²

2.1.4 Funciones y campos de aplicación específicas de los geotextiles

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

A continuación, se describen las distintas funciones y aplicaciones que pueden desempeñar los geotextiles, así como las exigencias mecánicas e hidráulicas necesarias para su desarrollo.

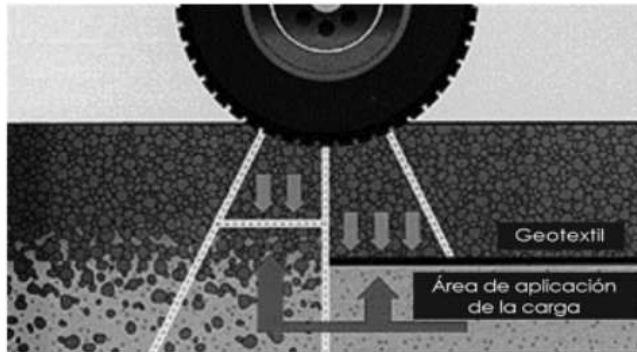
2.1.4..1 Separación

La separación a través de un Geotextil toma fuerza bajo el hecho contundente de que la capa granular componente de un pavimento se pueda mezclar con el suelo de la subrasante, cambiando sus características iniciales, propiciando una falla de deformación en esa

² <https://geotexan.com/que-son-los-geosintéticos/>

interfase y por supuesto en ahuellamientos excesivos y fisuras en la superficie del pavimento. Lo adecuado en este caso es que el estrato granular mantenga su capacidad de distribuir los esfuerzos de diseño, para lo cual es indispensable mantener su capacidad permeable y su espesor intactos.

Figura 2.1.4.1 Separación de capas granulares y subrasante.



Fuente: Manual de diseño con geosintéticos (Geosoft PAVCO)

Algunos diseñadores previendo que parte de la estructura granular Base/Subbase podría mezclarse con el suelo de subrasante, sobre dimensionaban el espesor del estrato granular con el objeto de sacrificar un volumen de material granular. Esta práctica dejó de ser necesaria con el uso de un adecuado Geotextil de alta capacidad de filtro para que el agua pase libremente sin generar presión de poros y de suficiente retención de acuerdo a las características del suelo de la subrasante.

Las características mínimas mecánicas, hidráulicas y de durabilidad adecuadas que debe tener el geotextil para garantizar su desempeño y supervivencia pueden ser las definidas en la Especificación de la AASHTO DESIGNATION M 288-97 ó del Artículo 674-02 del INVÍAS.

A continuación, se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"- Quinta Edición.

- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados.
- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.
- Entre la subrasante y el balasto en vías férreas.

- Entre rellenos y capas de base de piedra.
- Entre geomembranas y capas de drenaje de piedra.
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos como sobrecargas.
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para rellenos de caminos.
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para presas de tierra y roca.
- Entre la cimentación y capas de suelo encapsuladas.
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención rígidos.
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención flexibles.
- Entre los suelos de cimentación y pilas de almacenamiento.
- Entre taludes y bermas de estabilidad aguas abajo.
- Debajo de áreas de sardineles.
- Debajo de áreas de estacionamiento.
- Debajo de campos deportivos y de atletismo.
- Debajo de bloques prefabricados y paneles para pavimentos estéticos.
- Entre capas de drenaje en masas de filtro pobremente gradado.
- Entre diversas zonas de presas en tierra.
- Entre capas antiguas y nuevas de asfalto.

2.1.4..2 Filtro

El uso de geotextiles como elemento de filtro para drenajes en vías es tal vez el más conocido en Colombia, justamente por el hecho de que se conoce ampliamente el deterioro que causa la excesiva humedad en una estructura de pavimento, lo cual se presenta en mayor medida en las épocas de invierno. Un buen drenaje para proteger el pavimento de una vía, ahorraría suficiente dinero de mantenimiento lo cual a gran escala permitiría construir nuevas vías.

La humedad puede penetrar en la estructura de pavimento a través de varios puntos, tales como la superficie, sobre todo por las fisuras y las juntas o por los hombros debido a la presión de poros de aguas sub superficiales. El exceso de humedad en la estructura causa varios efectos dañinos, como reducción de los esfuerzos cortantes en la masa granular, engrosamientos diferenciales en suelos expansivos, transporte de finos hacia y desde la base/subbase granular disminuyendo su permeabilidad o desestabilizando la estructura.

Las características mínimas mecánicas, hidráulicas y de durabilidad adecuadas que debe tener el geotextil para garantizar su desempeño y supervivencia pueden ser las definidas en la Especificación de la AASHTO DESIGNATION M 288-97 ó del Artículo 673-02 del INVÍAS. ó las definidas en un diseño del filtro usando métodos adecuados como el propuesto por (Giroud 1982).

A continuación, se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"- Quinta Edición.

- En lugar de filtro de suelo granular.
- Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados.
- Debajo de base de piedra para caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.
- Debajo de balasto en vías férreas.
- Alrededor de piedra picada que rodea los subdrenes.
- Alrededor de piedra picada sin subdrenes (Drenes franceses).
- Alrededor de piedra y tubería perforada en pisos de adoquines.
- Debajo de rellenos sanitarios para los lixiviados.
- Para filtrar rellenos hidráulicos.
- Como protección contra los sedimentos.
- Como cortina a los sedimentos.
- Como barrera contra la nieve.
- Como un encofrado flexible para contener arena, inyección o concreto en sistemas de control de erosión.
- Como un encofrado flexible para reconstruir pilotes deteriorados.
- Como un encofrado flexible para restaurar la integridad en la minería subterránea.
- Como un encofrado flexible para restaurar la capacidad portante de pilares socavados de puentes.
- Para proteger el material de drenaje en chimeneas.
- Para proteger el material de drenaje en galerías.
- Entre el suelo de relleno y vacíos en muros de retención.
- Entre el suelo de relleno y muros de gaviones.

- Alrededor de núcleos moldeados en geodrenes.
- Alrededor de núcleos moldeados en drenes de zanja.
- Contra georedes para prevenir la intrusión del suelo.

2.1.4.3 Drenaje

Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil.

La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido.

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

A continuación, se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"- Quinta Edición.

- Como un dren chimenea en una presa de tierra
- Como una galería de drenaje en una presa de tierra
- Como un interceptor de drenaje para flujo horizontal
- Como una cubierta de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga
- Como un dren detrás de un muro de retención
- Como un dren detrás del balasto de vías férreas
- Como un dren de agua debajo de geomembranas
- Como un dren de gas debajo de geomembranas
- Como un dren debajo de campos deportivos
- Como un dren para jardines de techo
- Como un dissipador de presión de poros en rellenos de tierra
- En reemplazo de drenes de arena
- Como una barrera capilar en áreas sensibles al congelamiento
- Como una barrera capilar para la migración de sales en áreas áridas

- Para disipar el agua de filtración de las superficies de suelo o roca expuestas

2.1.4..4 Estabilización

Cuando la estructura de pavimento se va a construir sobre un suelo de baja capacidad portante $C_u < 90$ kPa el concepto separar se convierte en un concepto de estabilizar pues se requiere de un Geotextil que aporte refuerzo, mientras que siga funcionando como separador y filtro de alta capacidad de flujo.

Las estructuras de pavimento sobre suelos blandos se han estabilizado tradicionalmente efectuando reemplazos profundos del suelo de subrasante para albergar enrocados, empalizadas o suelos estabilizados con cemento. Estas prácticas son costosas aún más cuando la disponibilidad de estos materiales es escasa o no se encuentran en zonas cercanas al proyecto.

La estabilización con geosintéticos de alto módulo de tensión, se genera por la resistencia a tensión del Geotextil y la restricción al movimiento lateral por la fricción entre el suelo-Geotextil, lo cual se ha llamado por algunos consultores como “Efecto de soporte tipo membrana”. Este efecto en la práctica permite que los esfuerzos que llegan al Geotextil transmitidos a través de la Base/subbase granular sean distribuidos a una mayor área lo cual aumenta el ángulo de transmisión de los esfuerzos desde la superficie.

Las características mínimas mecánicas, hidráulicas y de durabilidad adecuadas que debe tener el geotextil para garantizar su desempeño y supervivencia pueden ser las definidas en la Especificación de la AASHTO DESIGNATION M 288-97 ó del Artículo 676-02 del INVÍAS. Sin embargo, en mi concepto cuando se trata de mejorar la estabilidad de una subrasante es preferible verificar a través de un diseño usando métodos adecuados como el propuesto por Giroud y Noiray 1981, Hass1987

2.1.4..5 Refuerzo de la estructura granular

En esta función se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras.

El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo, permitiendo difundir y repartir las tensiones locales. Estas acciones aumentan la capacidad portante y la estabilidad de la construcción.

A continuación, se referencian las aplicaciones de Robert M. Koerner en su libro "Designing With Geosynthetics"- Quinta Edición.

Refuerzo de suelos débiles y otros materiales

- Sobre suelos blandos para caminos no pavimentados.
- Sobre suelos blandos para campos de aterrizaje.
- Sobre suelos blandos para vías férreas.
- Sobre suelos blandos para rellenos.
- Sobre suelos blandos en campos deportivos y de atletismo.
- Sobre suelos heterogéneos.
- Sobre rellenos inestables como sistemas de cerramiento.
- Para confinamiento lateral de balasto en vías férreas.
- Para envolver suelos en sistemas de telas encapsuladas.
- Para construir muros en suelo reforzado.
- Para reforzar terraplenes.
- Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados.
- Para reforzar presas de tierra y roca.
- Para estabilización temporal de taludes.
- Para detener o disminuir la reptación en taludes de suelo.
- Para reforzar pavimentos flexibles con juntas.
- Como refuerzo basal en áreas cársticas.
- Como refuerzo basal entre cabezotes de pilotes de cimentación.
- Para hacer un efecto de "puente" entre rocas agrietadas y diaclasas.
- Para mantener colchones de filtro de piedra gradada.
- Como sustrato de bloques articulados de concreto.
- Para estabilizar patios de almacenamiento no pavimentados y áreas de descanso.
- Para anclar paneles frontales en muros de tierra reforzada.

- Para anclar bloques de concreto en muros de retención pequeños.
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por suelos.
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por materiales de relleno o base de piedra.
- Para crear taludes laterales más estables debido a la alta resistencia friccionante.
- Para retener suelos blandos en la construcción de presas de tierra.
- Como membranas en suelos encapsulados.
- Para la compactación y consolidación in-situ de suelos marginales.
- Para hacer un efecto de "puente" sobre rellenos irregulares durante el cerramiento del sitio.
- Para ayudar en la capacidad portante de cimentaciones superficiales.

2.1.4..6 Protección

Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el geotextil y la geomembrana. El geotextil protege a la geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc. También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante.

De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento con el soporte que se produce durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas. La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno. Las irregularidades pronunciadas implican una tensión en la lámina la cual a su vez causa una pérdida de espesor en la misma dando origen a puntos débiles en los que se podrían producir

posibles perforaciones o roturas causadas por objetos punzantes del terreno. La interposición del geotextil evitará la pérdida de estanqueidad que se produciría por todas estas causas.

2.1.4.7 Impermeabilización

Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético.

El geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

2.1.5 Ensayos que se realizan a los geotextiles

Para justificar el uso de un geotextil en determinada función, deben realizarse una serie de ensayos de laboratorio que ayuden a predecir el comportamiento de las estructuras reales en las que se va a utilizar.

Especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras, basadas en las normas dadas por la ASTM. En cada norma explica el concepto fundamental del ensayo, equipo utilizado y procedimiento, con el fin de entender la importancia que tiene en las diferentes aplicaciones de los geotextiles:

2.1.5.1 Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (método GRAB) ASTM D-4632, INV E – 901

Esta norma consiste en aplicar a muestras de geotextiles Tejidos y No Tejidos una carga que se incrementa continuamente en sentido longitudinal, hasta alcanzar la rotura. Los valores para la carga de rotura (tensión Grab) y la elongación (elongación Grab) del espécimen de ensayo se obtienen de las escalas o diales de las máquinas, de diagramas de registro autográficos o de computadores interconectados. Esta norma determina una propiedad índice.

La norma incluye los procedimientos para medir la carga de rotura y la elongación mediante el método Grab, tanto en estado seco como en estado húmedo; sin embargo, el ensayo normalmente se realiza en seco a menos que se especifique de otra manera.

El equipo requerido para realizar el ensayo es el siguiente: (Ver figura 2.1.5.1)

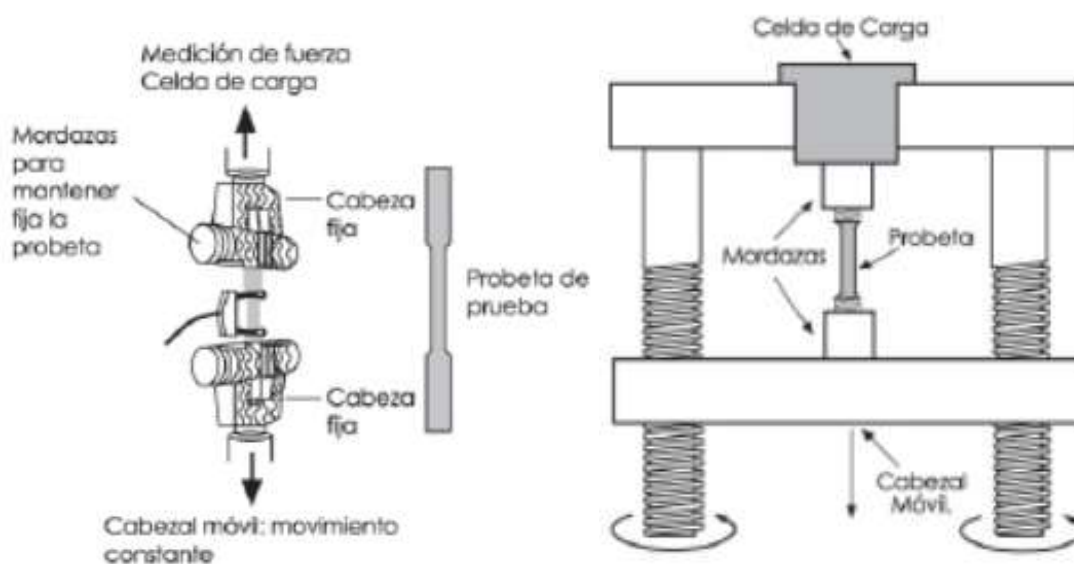
- Máquina para el ensayo de Tracción: la máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe

garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante con el tiempo y debe constar de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado.

- Mordazas: las mordazas deben tener superficies de agarre paralelas, planas y capaces de prevenir el deslizamiento del espécimen durante un ensayo. Cada mordaza debe tener una superficie de 25.4 mm por 50.8 mm, con la dimensión más larga paralela a la dirección de aplicación de la carga. Las superficies de las mordazas deben ser iguales y estar alineadas, una respecto de la otra.

El número de muestras necesario para realizar el ensayo es de 10.

Figura 2.1.5.1 Ensayo de tensión grab.



Fuente: Manual de diseño con geosintéticos (Geosoft PAVCO)

2.1.5.2 Método para la determinación del índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados ASTM D-4833, INV E – 902

Esta norma establece el método para determinar el índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados y consiste en colocar un espécimen sin tensión, entre las placas circulares del dispositivo anular de sujeción de la máquina de ensayo. Se aplica una fuerza en la parte central, mediante una barra de acero

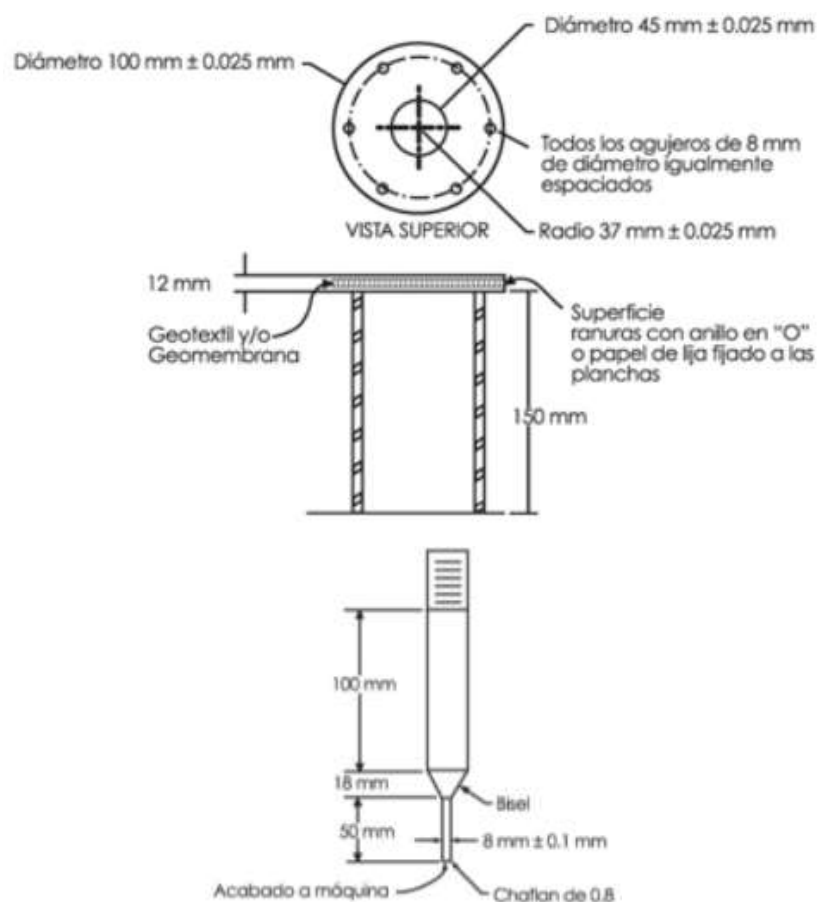
sólido, conectada al indicador de carga, hasta que se rompa el espécimen. La máxima fuerza registrada corresponde a la resistencia al punzonamiento.

El equipo requerido para realizar este ensayo es el siguiente: (Ver Figura 2.1.5.2)

- Máquina para el ensayo de tracción – compresión: La máquina de ensayo es del tipo de coeficiente constante de extensión (CCE), con registrador gráfico.
- Dispositivo anular de sujeción: el dispositivo consiste en dos placas concéntricas con un orificio de diámetro interno de 45 ± 0.025 mm, que permite sujetar el espécimen sin que se deslice. Se sugiere que el diámetro externo sea 100 ± 0.025 mm y el diámetro de los seis agujeros usados para asegurar el ensamble sea de 8 mm y que estén igualmente espaciados sobre una circunferencia de radio de 37 mm. Las superficies de estas placas pueden tener ranuras con anillos en "O" o papel de lija áspero pegado sobre ambas superficies.
- Aditamento punzante: barra de acero sólido de un diámetro de 8 ± 0.01 mm, con extremo plano con borde biselado de $45^\circ = 0.8$ mm, que hace contacto con la superficie del espécimen de ensayo.

El número de especímenes necesarios para el ensayo es de 15, cortados en forma circular con un diámetro mínimo por espécimen de 100 mm para facilitar la instalación en el dispositivo anular de sujeción. Las muestras nunca deberán tomarse cerca de los bordes, se deben tomar a una distancia mínima de 1/10 del ancho del rollo del geotextil, geomembrana o producto relacionado.

Figura 2.1.5.2 Ensayo de punzonamiento



Fuente: Manual de diseño con geosintéticos (Geosoft PAVCO)

2.1.5.3 Método para la determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles ASTM D-4533, INV E – 903

Este método de ensayo es un índice que permite determinar la fuerza requerida para continuar o propagar un rasgado en geotextiles tejidos, no tejidos, tejidos de punto y telas estratificadas, por el método trapezoidal.

Esta norma describe el procedimiento para la determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles. Este método corresponde a una propiedad índice y no ofrece la información suficiente para considerarse un criterio de diseño en todas las aplicaciones de geotextiles.

La resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles tejidos es determinada básicamente por las propiedades de las cintas o elementos que los constituyen, los cuales están sujetos por las mordazas. En geotextiles no tejidos, debido a que las fibras están dispuestas de una forma más o menos aleatoria y son capaces de reorientarse en dirección a la carga aplicada, la máxima resistencia al rasgado trapezoidal de la nueva reorientación se logra cuando se desarrolla una tensión mayor que la requerida para romper una o más fibras simultáneamente.

El equipo necesario para realizar este ensayo es el siguiente:

- Máquina para el ensayo de tracción: la máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante en el tiempo y debe constar de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado.
- Mordazas: deben tener superficies de agarre paralelas, planas y capaces de prevenir el deslizamiento del espécimen durante el ensayo. Las dimensiones de cada mordaza deben ser 50.8 mm por 76.2 mm (como mínimo), con la dimensión más larga perpendicular a la dirección de aplicación de la carga.
- Molde trapezoidal: este molde es opcional y se utiliza para marcar el espécimen.

El número de especímenes necesario es de 10, tomados a una distancia mínima de 1/20 del ancho a partir del borde de la tela o a 150 mm, escogiendo el menor. De cada muestra se cortan especímenes rectangulares de 76.2 mm por 201.6 mm. Se cortan sentido longitudinal y en sentido transversal.³

2.2 PAVIMENTOS

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración

³ Manual de diseño con geosintéticos (Geosoft PAVCO)

y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

2.2.1 Características que debe reunir un pavimento

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

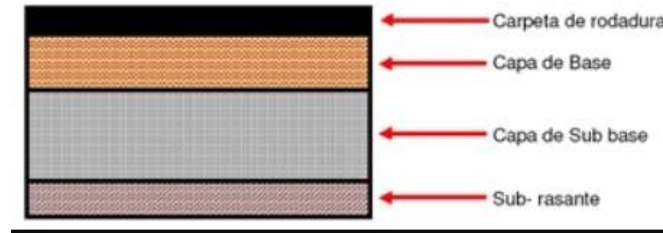
2.2.2 Clasificación de los pavimentos

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

2.2.2..1 Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

Figura 2.2.1 Pavimento flexible



Fuente: Morales Rosales, 2007

2.2.2..1.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible

La subbase granular

- **Función económica.** Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante, resultar más económica.
- **Capa de transición.** La sub base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.
- **Disminución de las deformaciones.** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse

con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

- **Resistencia.** La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidos a un nivel adecuado a la subrasante.
- **Drenaje.** En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

La base granular

- **Resistencia.** La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
- **Función económica.** Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base.

Carpeta

- **Superficie de rodamiento.** La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- **Impermeabilidad.** Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- **Resistencia.** Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

2.2.2..2 Pavimentos semi-rígidos

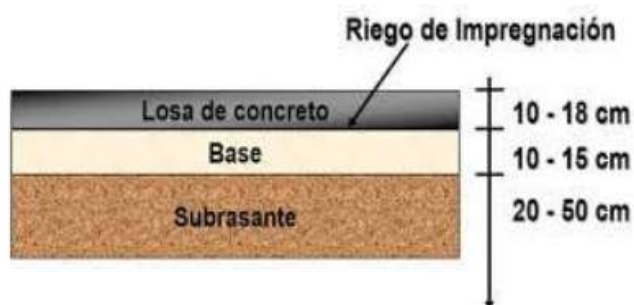
Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales

locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

2.2.2.3 Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido (ver Figura 1.2). Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

Figura 2.2.2 Pavimento rígido



Fuente: <http://alicaresp.com/2019/01/14/conceptos-basicos-de-pavimentos/>

2.2.2.3.1 Funciones de las capas de un pavimento rígido

La subbase

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licúa el suelo fino

de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.

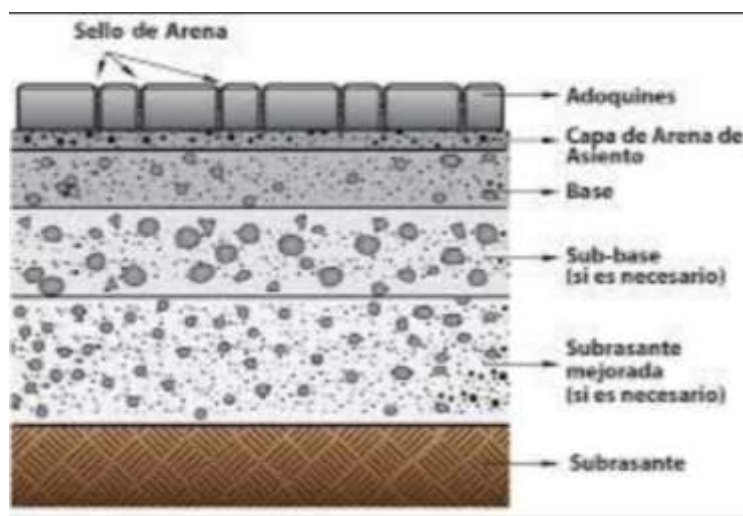
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

Losa de concreto

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

2.2.2..4 Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento.

Figura 2.2.3 Pavimento articulado

Fuente: Guía técnica de instalación de adoquines de concreto

2.2.2..4.1 Funciones de las capas de un pavimento articulado

La base

Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o más capas de materiales seleccionados.

Capa de arena

Es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos.

Adoquines

Deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito, y en especial, el desgaste producido por éste.

Sello de arena

Está constituido por arena fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de las mismas y contribuye al funcionamiento, como un todo, de los elementos de la capa de rodadura.⁴

2.3 PAVIMENTOS EN VÍAS TERCIARIAS (CARPETAS DE RODADURA NO PAVIMENTADAS)

Una vía no pavimentada es un camino con una capa de rodadura conformada por una estructura de agregados pétreos o material granular. En general, las carpetas no pavimentadas, pueden ser de dos tipos, según las características del material del pétreo:

- Caminos cuya capa de rodadura está constituida por agregados pétreos naturales provenientes de canteras o de excedentes de excavaciones (gravas, cantos rodados, etc.) y donde los materiales que la componen se ajustan a determinadas especificaciones técnicas en relación con su tamaño, su composición granulométrica, su resistencia y su calidad de finos.
- Caminos cuya capa de rodadura está constituida por agregados pétreos naturales provenientes de canteras previamente conocidas o de excedentes de excavaciones (gravas, cantos rodados, etc.) y donde los materiales que la componen se ajustan a determinadas especificaciones sólo en relación con su tamaño.

En general, el espesor de la capa de afirmado varía entre 10 centímetros y 20 centímetros, con un valor predominante de 15 centímetros.

2.4 MEJORAMIENTO DE VÍAS TERCIARIAS (ESTABILIZACIÓN DE SUELOS)

Mecanismos básicos de la química de la estabilización de suelos

Existen cinco reacciones principales que ocurren entre el aglutinante y el suelo para ser estabilizado: el intercambio catiónico, la floculación / aglomeración, la hidratación, las reacciones puzolánicas y potencialmente la carbonatación. El intercambio catiónico y la floculación / aglomeración ocurren inmediatamente después de la mezcla y pueden durar hasta un par de horas. La hidratación tiene lugar hasta un mes después de la mezcla,

⁴ Alfonso Mántelo Fonseca ingeniería de pavimentos TOMO II

mientras que las reacciones puzolánicas se producen durante una escala de tiempo más largo, es decir, meses o años. A continuación se describen los fenómenos.

Las nuevas técnicas de construcción en carreteras y la necesidad de contar con materiales durables y que respondan mejor a mayores sollicitaciones de tráfico, han llevado a buscar nuevas alternativas en el uso de materiales convencionales empleados en las carreteras.

Uno de los avances más significativos lo encontramos en el empleo de la técnica de estabilización de suelos, que busca resolver en general tres carencias principales de los materiales naturales:

- Estabilidad volumétrica. Debido a las diversas fracciones mineralógicas presentes, y sobre todo por ciertas arcillas, el material natural presenta cierta inestabilidad ante los cambios de estado de humectación. Esto ocasiona fisuración y deformaciones, en la propia ejecución de la obra, con la consecuente pérdida de resistencia y durabilidad.
- Agua. La meteorización por el ataque del agua capilar o procedente de la lluvia, compromete en muchos casos la construcción con material natural. El agua al entrar de nuevo en la estructura aglomerante de las arcillas, deshace las fuerzas de tensión superficial del agua interlaminar.
- Resistencia. Cómo en cualquier material de construcción, en cada caso se hace indispensable cumplir con cierto grado de resistencia a compresión; resistencia a tracción, u otros. Para ello es indispensable un refuerzo y estabilización de la matriz aglomerante intergranular, conjuntamente con la obtención de una densidad máxima.

La estabilización persigue transformar los suelos de la traza que no reúnen las condiciones necesarias para su utilización como capas inferiores del paquete estructural, o carpetas de rodadura para vías con tráficos livianos, en materiales aptos para su uso. Para conseguirlo hay que recurrir a aditivos que modifiquen las propiedades de los suelos con dos fines principales: aumentar su capacidad portante y reducir su susceptibilidad al agua.

Las propiedades más importantes que se deben mejorar con la estabilización son: (Sherwood, 1992):

- Resistencia. El incremento de resistencia aumenta la estabilidad y la capacidad de carga.
- Estabilidad del volumen. Proporciona el control de los procesos de hinchamiento-colapso causados por los cambios de humedad.
- Durabilidad. Una mayor durabilidad aumenta la resistencia a la erosión, responde de manera más eficaz a los cambios climáticos y al uso del tráfico.
- Permeabilidad. La reducción de la permeabilidad y por lo tanto de la circulación de agua, mejora la estabilidad.

2.4.1 Tipos de estabilización

2.4.1.1 Estabilización física

Se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son:

- **Mezclas de Suelos.** Este tipo de estabilización es de amplio uso, pero por sí sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre por lo menos la compactación como complemento. Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que le permite soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como capa de asiento del paquete estructural de una carretera ya que, al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino. Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

- **Estabilización con geotextil**
- **Consolidación previa**

2.4.1..2 Estabilización química

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. Dentro de este grupo de estabilización, las sustancias químicas más comunes son: cal y cemento.

- **Cal:** disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- **Cemento portland:** aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

Otros productos también utilizados son:

- **Productos asfálticos:** es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- **Cloruro de sodio:** impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Cloruro de calcio:** impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Escorias de fundición:** se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Polímeros:** este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Caucho de neumáticos:** este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

2.4.1..3 Estabilización mecánica

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

- **Compactación:** esta mejora generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas⁵

2.5 USO DEL GEOSINTÉTICO EN VÍAS TERCIARIAS Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTO REFORZADO

La utilización de geosintéticos dentro de una estructura de pavimento, permite formular soluciones estratégicas que mejoran sensiblemente la relación beneficio – costo, especialmente en proyectos viales que atraviesan zonas de suelos de baja competencia mecánica.

Estos materiales se caracterizan por otorgar una rápida y alta capacidad de refuerzo y controlan las deformaciones a largo plazo de la estructura de pavimento, dado el alto módulo de deformación y bajo creep que los caracteriza. Los geosintéticos de poliéster de alta tenacidad al hacer parte de la subestructura granular de un pavimento, mejoran el desempeño de los materiales, logrando una mejor interacción suelo estructura que se traduce en incrementos en el aporte estructural y mayor vida útil.

El geotextil interactúa con los materiales térreos por fricción. El contacto directo de los materiales pétreos con el geotextil, hace que cuando se presenta un desplazamiento relativo entre estos, se desarrollen fuerzas de tensión sobre su plano, que son transmitidas por reacción a la subestructura granular. Por su parte, las geomallas interactúan con el suelo principalmente por un fenómeno conocido como resistencia pasiva. Cuando se da el desplazamiento relativo entre el suelo y la geomalla, las partículas de material que la atraviesan, hacen presión contra las fibras o elementos transversales a la dirección del desplazamiento relativo, tensionando la geomalla. Al igual que en el caso de los geotextiles, estas fuerzas son transmitidas por reacción a la subestructura granular, generándose un confinamiento a manera de prees fuerzo que mantiene las partículas granulares en compresión, con lo cual se incrementa sensiblemente su desempeño mecánico.

⁵ Manual de diseño de conservación vial

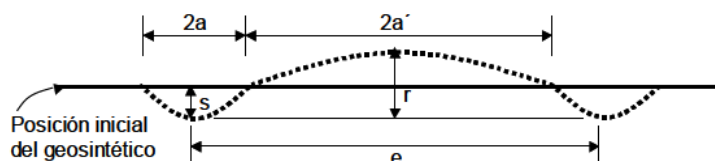
Perkins e Ishmeik , afirman que la interacción suelo - geosintético define los siguientes efectos:

- Restricción al desplazamiento lateral de los materiales.
- Aumento de la capacidad portante.
- Efecto de membrana tensionada.

Estos efectos se desarrollan en función de la deformación del arreglo suelo de subrasante – geosintético - granulares, reconociéndose que a bajos niveles de deformación, la restricción al desplazamiento lateral domina la situación, en tanto que, a altos valores de deformación, el efecto membrana predomina.

Varios métodos de diseño de pavimentos reforzados con geosintéticos han sido propuestos, entre los cuales se destacan los trabajos de Barenberg et al. (1975), Bakker (1977), Kinney (1979), Giroud y Noiray (1981), Sellmeijer et al. (1982), Gourc et al. (1983), Giroud et al. (1984), entre otros. Estos métodos asumen que el pavimento se deforma cierto nivel de ahuellamiento que ocasiona deformación de la interfase donde está el geosintético, tal como se aprecia en la figura 1. Considerando ciertas condiciones sobre la geometría de la superficie deformada y asumiendo que el geosintético está suficientemente anclado por fuera del área de carga, como se ilustra en la figura 2, es posible determinar su deformación. Con base en el módulo de deformación del geosintético se estima la tensión desarrollada y, dado que la deformada tiene forma cóncava hacia arriba en la zona de carga, la presión por encima del geosintético es mayor que la presión por debajo (efecto membrana), dando lugar a una mayor capacidad de soporte en el conjunto geosintético - subrasante.

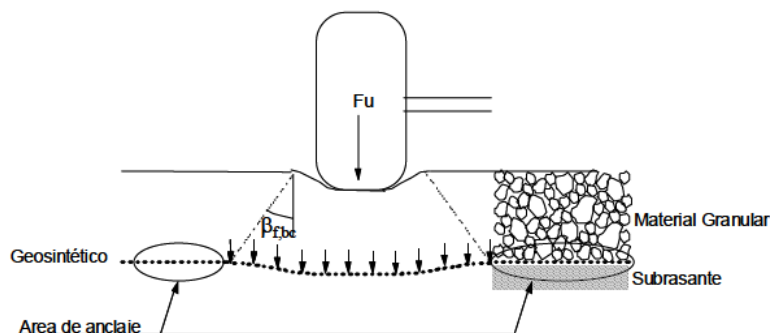
Figura 2.5.1 Deformación de la subrasante en contacto con el geosintético.



Fuente: Diseño de estructuras granulares para pavimentos reforzados con geosintéticos

Omar Leonardo Torres Parada

Figura 2.5.2 Anclaje del geosintético por fuera del área de carga.



Fuente: Diseño de estructuras granulares para pavimentos reforzados con geosintéticos
Omar Leonardo Torres Parada

Debido a que el efecto anterior depende de la curvatura del refuerzo y de la tensión, los cuales son linealmente proporcionales a la profundidad del ahuellamiento, se calcula que el efecto membrana es proporcional al cuadrado de la profundidad del ahuellamiento y linealmente proporcional al módulo de deformación del geosintético. En este arreglo, es fundamental que el geosintético desarrolle una alta resistencia a baja elongación y que los esfuerzos asumidos sean sostenidos en forma constante durante toda la vida de la estructura, para lo cual no debe presentar mayor deformación por fluencia o creep tanto a corto como a largo plazo.

Dada la amplia aceptación de este modelo, este estudio se basa en él y presenta los resultados que se obtienen para las características de desempeño de los geotextiles de alto módulo Fortex y geomallas Fortgrid.⁶

2.6 GESTIÓN DE VÍAS TERCIARIAS SIN PAVIMENTAR

2.6.1 Introducción a la gestión de vías terciarias sin pavimentar

Se denomina vías terciarias a las vías de acceso que comunican las cabeceras municipales con sus veredas o veredas entre sí. Los tipos de superficie de rodado que tienen estas vías son: mezcla asfáltica, afirmado, empedrado placa huella, tierra u otras superficies.

⁶ Diseño de estructuras granulares para pavimentos reforzados con geosintéticos Omar Leonardo Torres Parada.

Adicionalmente, presentan una baja tasa de circulación vehicular, estimada como tránsito NT1 por INVÍAS (2012). Que corresponde a vías en las que el tránsito de diseño es inferior a 0.5 millones de ejes equivalentes de 80 KN en el carril de diseño.

Técnicamente un pavimento este compuesto por una estructura multicapa de la cual hace parte la sub-rasante, donde las capas que se encuentran sobre ella permiten distribuir las cargas vehiculares que le impone el tránsito, de manera que al llegar a la sub-rasante esta sea capaz de soportarlas. Para el caso de vías no pavimentadas la estructura del pavimento está compuesto por la superficie de rodado, que puede ser afirmado, suelo natural, suelo natural estabilizado y la sub-rasante.

Los estándares de diseño geométrico varían considerablemente y corresponden a vías esencialmente formadas por tránsito que circula a lo largo de contornos naturales, en donde no se tiene mayor control de los elementos de diseño geométrico.

2.6.2 Marco teórico de la gestión de vías terciarias sin pavimentar

Las vías terciarias recorren una amplia zona del territorio nacional y conectan los centros agrícolas con los centros de producción industrial. Históricamente estos caminos han sido mantenidos mediante técnicas convencionales que consisten en la colocación de una capa de material granular, en la mayoría de los casos de baja calidad, proveniente de fuentes cercanas como playas de ríos o canteras de préstamo.

Como una alternativa de construcción y mantenimiento en procura de mejorar las condiciones generales de las vías no pavimentadas, se ha propuesto la estabilización de materiales in situ o materiales que, siendo de préstamo, son de baja especificación (recebo o afirmado). Dentro de este tipo se encuentran las estabilizaciones físicas, químicas y fisicoquímica. Las físicas corresponden a un proceso de densificación del material (compactación). La química utiliza productos químicos que se adicionan a las materiales in situ generando una reacción química que desencadena una acción cementante. La fisicoquímica utiliza los principios de la estabilización química que se complementan con la compactación mecánica.

Rodriguez (2004) utilizo materiales granulares para mejorar su desempeño mediante la adición de cenizas volantes y cal. Rodriguez & Hidalgo (2004) utilizaron cal para la

estabilización de materiales in situ de sub-rasante. Persons & Milburn (2003) utilizaron varios tipos de estabilizadores con diferentes tipos de suelo, y encontraron que los productos que mejor desempeño tuvieron y que podrían ser usados en una mayor cantidad de suelos eran el cemento y la cal.

El deterioro de este tipo de vías sin pavimentar se debe a una serie de relaciones que se desarrollan entre las solicitaciones aplicadas a la estructura del pavimento (tránsito y clima), el tipo de estructura (espesor y tipo de material utilizado), calidad del proceso constructivo y el mantenimiento. De la manera como se relacionen dependerá la confiabilidad del desempeño del pavimento a lo largo del periodo de operación.

En general el mecanismo de falla de este tipo de estructura inicia con la pérdida del material fino (pasante del tamiz N°4) de la superficie del pavimento, que luego da comienzo a la pérdida de material grueso-granular por la falta de material que ayude al agarre de las partículas gruesas; posteriormente inicia la aparición de pequeños baches como consecuencia de la pérdida del material que se encuentra como capa de rodadura (grueso y finos). La severidad de esta patología aumenta como consecuencia de la acción de las cargas del tránsito, pero sobre todo del clima (lluvias). La evolución de estos baches genera surcos por donde se desplaza el agua favorecidos por la presencia de pendiente longitudinal. Si no se interviene este tipo de patologías, los corredores pueden llegar a condiciones de intransitabilidad debido a que el deterioro avanza hasta afectar la capacidad de soporte del suelo de sub-rasante.

El desarrollo de la infraestructura vial está estrechamente relacionado con el crecimiento económico de la región de influencia; por lo tanto, una sociedad que descuida su infraestructura pierde capacidad para transportar personas y alimento, proporcionar aire y agua limpia, controlar enfermedades y realizar transacciones comerciales, entre otros.

La gestión de la infraestructura vial es una herramienta que sirve para apoyar la toma de decisiones, seleccionar las acciones de conservación más adecuadas, determinar su costo y fijar prioridades dentro de la disponibilidad económica de la entidad administrativa, ya sea pública o privada.

La gestión de infraestructura vial requiere de una enorme cantidad de información, levantada en forma sistemática, rigurosa, siguiendo procesos que garanticen su repetibilidad y reproducibilidad. El modelo conceptual de la gestión de infraestructura vial se basa en la teoría de sistemas.

Un sistema es un “modelo ordenado que se aplica en una determinada organización que opera en un entorno cambiante. (Konacevic y Gonzalez 1990), y comprende una colección de elementos interrelacionados, los cuales operan en conjunto para lograr un objetivo. La efectividad de cada uno de dichos elementos depende de cómo actúa cada uno en el conjunto (Solminihac, 2011).

En términos genéricos la información requerida por un sistema de gestión de infraestructura vial, corresponde a la adquisición o comunicación del conocimiento derivado del estudio, experiencia o instrucción respecto de situaciones específicas, que permiten ampliar los que se poseen respecto de determinadas materias (Solminihac, 2011).⁷

⁷ Vías de bajo volumen de tránsito Luis Javier Montoya Jaramillo

CAPÍTULO 3

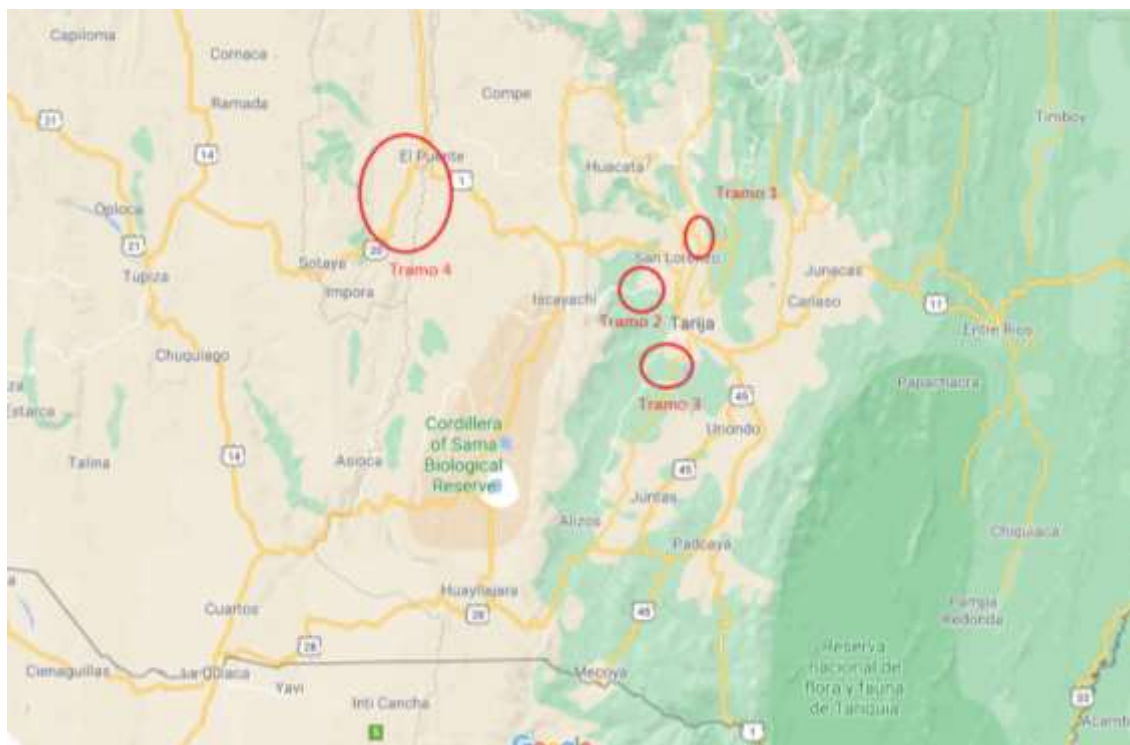
APLICACIÓN PRACTICA SOBRE LA EVALUACIÓN DEL REFUERZO DE VÍAS Terciarias

3.1 UBICACIÓN DE LOS TRAMOS, COORDENADAS DE LOS PUNTOS INICIO Y FIN DEL TRAMO COMO TAMBIEN DE LOS PUNTOS DE EXTRACCIÓN DEL MATERIAL

3.1.1 Macro localización

De los cuatro tramos que se están estudiando para la extracción de las muestras tres se localizan en el departamento de Tarija (Bolivia) y uno se localiza entre Tarija y Chuquisaca (Bolivia).

Figura 3.1.1 Vista satelital, ubicación de los tramos.



Fuente: Programa informático google earth.

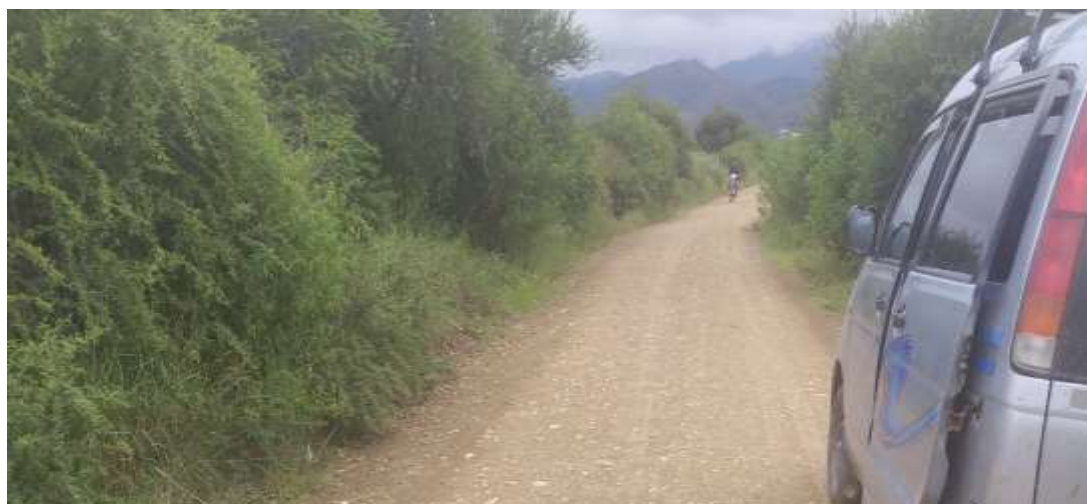
3.1.2 Micro localización.

Tramo Carachimayo y Sella Méndez

Figura 3.1.2.1.1 Vista satelital, ubicación de los puntos de inicio y final del tramo como también de extracción tramo 1.



Fuente: Programa informático google earth.

Figura 3.1.2.1.2 Fotografía del tramo 1.

Fuente: Elaboración propia.

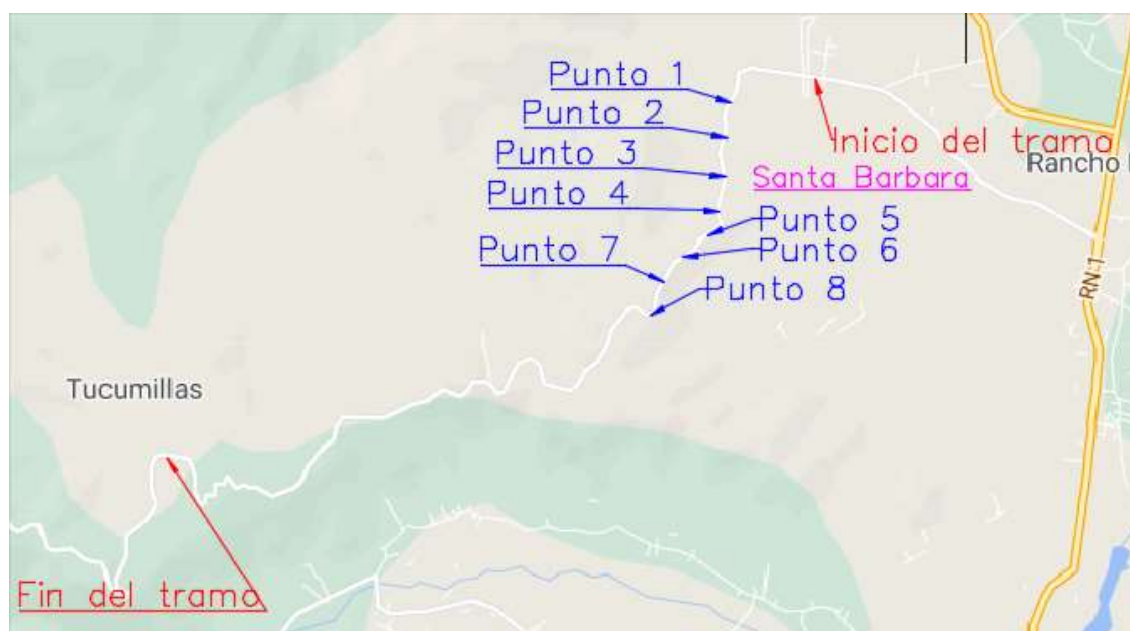
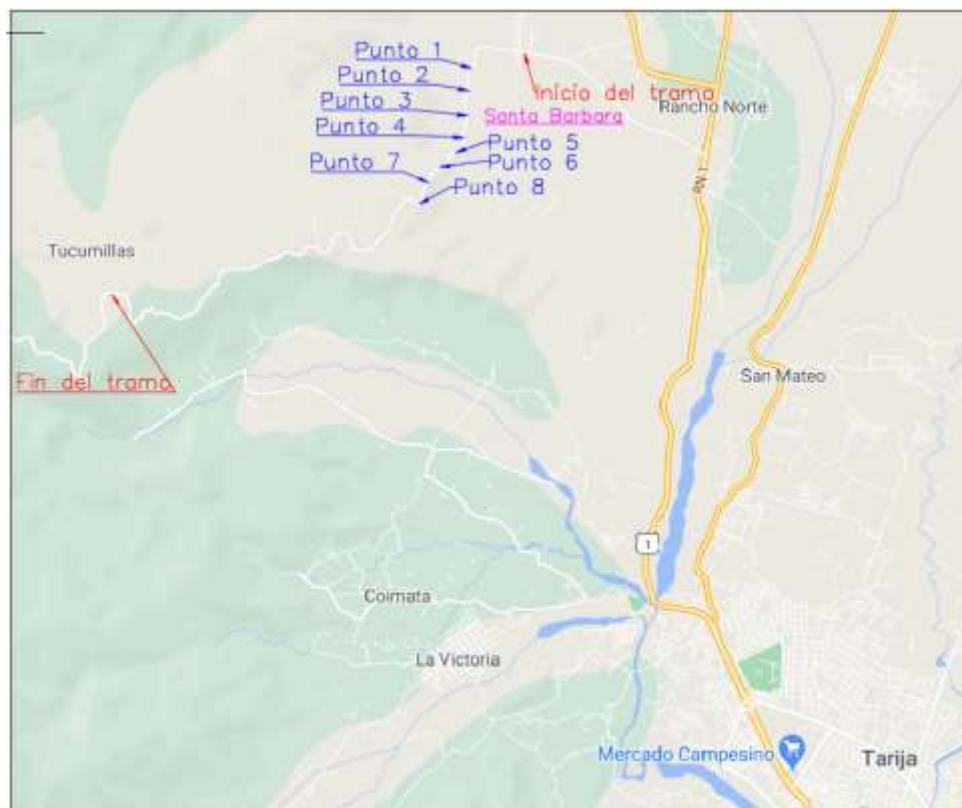
Tabla 3.1.2.1 Coordenadas de los puntos del tramo 1.

Puntos	Progresiva	Coordenadas U.T.M	
Punto inicio	0+000	317017.35 m Este	7611132.40 m Sur
Punto 1	2+450	316462.76 m Este	7610843.00 m Sur
Punto 2	2+700	316192.89 m Este	7610827.15 m Sur
Punto 3	3+000	315882.21 m Este	7610691.22 m Sur
Punto 4	3+300	315546.26 m Este	7610546.41 m Sur
Punto final	8+100	311859.00 m Este	7608098.00 m Sur

Fuente: Elaboración propia.

Tramo Santa Barbara Grande y Tucumillas

Figura 3.1.2.2.1 Vista satelital, ubicación de los puntos de inicio y final del tramo como tambien de extracción tramo 2.



Fuente: Programa informático google earth.

Figura 3.1.2.2.2 Fotografía del tramo 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1.2.2 Coordenadas de los puntos del tramo 2.

Puntos	Progresiva	Coordenadas U.T.M	
Punto inicio	0+000	315449.00 m Este	7628978.00 m Sur
Punto 1	0+540	315104.55 m Este	7628707.64 m Sur
Punto 2	0+850	315047.01 m Este	7628399.08 m Sur
Punto 3	1+150	315071.52 m Este	7628118.23 m Sur
Punto 4	1+450	315015.12 m Este	7627810.92 m Sur
Punto 5	1+750	314944.00 m Este	7627582.18 m Sur
Punto 6	2+000	314749.56 m Este	7627411.40 m Sur
Punto 7	2+250	314592.65 m Este	7627232.13 m Sur
Punto 8	2+600	314450.82 m Este	7626892.78 m Sur
Punto final	8+800	310232.98 m Este	7625640.00 m Sur

Fuente: Elaboración propia.

Tramo Tolomosa y San Andrés

Figura 3.1.2.3.1 Vista satelital, Ubicación de los puntos de inicio y final del tramo como tambien de extracción tramo 3.



Fuente: Programa informático google earth.

Figura 3.1.2.3.2 Fotografía del tramo 3.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1.2.3 Coordenadas de los puntos del tramo 3.

Puntos	Progresiva	Coordenadas U.T.M	
Punto inicio	0+000	321310.00 m Este	7638829.00 m Sur
Punto 1	0+660	320630.46 m Este	7636643.33 m Sur
Punto 2	0+960	320620.00 m Este	7636396.00 m Sur
Punto 3	1+260	320835.00 m Este	7636252.00 m Sur
Punto 4	1+560	321094.00 m Este	7636163.00 m Sur
Punto final	6+840	324058.00 m Este	7633889.00 m Sur

Fuente: Elaboración propia.

Tramo San Juan y Impora.

Figura 3.1.2.4.1 Vista satelital, ubicación de los puntos de inicio y final del tramo como tambien de extracción tramo 4.



Fuente: Programa informático google earth.

Figura 3.1.2.4.2 Fotografía del tramo 4.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1.2.4 Coordenadas de los puntos del tramo 4.

Puntos	Progresiva	Coordenadas U.T.M	
Punto inicio	0+000	270397.00 m Este	7652144.00 m Sur
Punto 1	8+400	267392.00 m Este	7646893.00 m Sur
Punto 2	8+700	267403.00 m Este	7646596.00 m Sur
Punto 3	9+000	267343.00 m Este	7646306.00 m Sur
Punto 4	9+300	267288.00 m Este	7646018.00 m Sur
Punto final	21+000	263693.00 m Este	7636171.00 m Sur

Fuente: Elaboración propia.

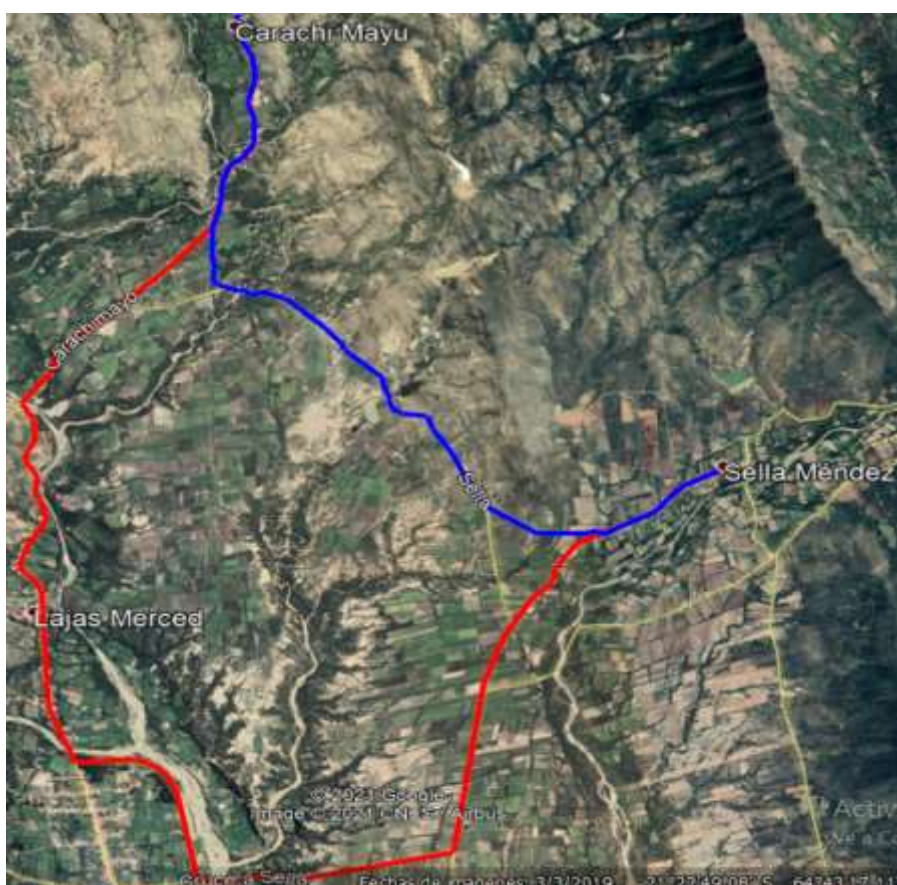
3.2 JUSTIFICAIÓN DE LA ELECCIÓN DE LOS TRAMOS ESTUDIADOS Y SUS CARACTERÍSTICAS DE LOS MISMOS.

La principal justificación de la elección de los tramos es porque en esta investigación se está evaluando las vías terciarias no pavimentadas en general y los tramos estudiados cumplen con la consigna de ser vías terciarias no pavimentadas.

3.2.1 Tramo Carachimayo y Sella Méndez

Se eligió este tramo ya que es una vía terciaria no pavimentada directa que unen los dos municipios y por eso sería un tramo usado tanto por los habitantes de los municipios como por las personas que transiten por este tramo, existe otra ruta para llegar de un municipio al otro, pero el costo de operación es el doble ya que la distancia estimada sería de 16.3 km (se observa en la figura la ruta de color rojo) comparada con el tramo de la vía terciaria no pavimentada que es de 8.1 km (se observa en la figura la ruta de color azul).

Figura 3.2.1.1 Vista satelital, ubicación de los tramos que unen los 2 municipios.



Fuente: Programa informático google earth.

Las características de este tramo son las siguientes:

- El ancho de la vía es de 3.5 – 3.7 m.

Figura 3.2.1.2 Medición del ancho del tramo.



Fuente: Elaboración propia.

- La altura de la capa de rodadura es de 0.18 m.

Figura 3.2.1.3 Medición de la capa de rodadura.



Fuente: Elaboración propia.

- El tipo de capa de rodadura que tiene es un suelo aluvial canto rodado.
- El tipo de suelo de subrasante que tiene es un suelo fino con presencia de materia orgánica (vegetal).
- Luego de realizar los ensayos de caracterización en laboratorio se tienen que la capa de rodadura es un suelo tipo A-1-b (0) y la capa sub rasante se tienen 2 tipos de suelos diferentes que uno sería un A-4 (6) y el otro un suelo A-7-6 (13)

3.2.2 Tramo Santa Barbara Grande y Tucumillas

Se eligió este tramo ya que es una vía terciaria no pavimentada que está cerca de la ciudad de Tarija, que une directamente los dos municipios y por eso sería un tramo usado tanto por los habitantes de los municipios como por las personas que transiten por este tramo.

Las características de este tramo son las siguientes:

- El ancho de la vía es de 3.5 – 3.7 m.

Figura 3.2.2.1 Medición del ancho del tramo.



Fuente: Elaboración propia.

- La altura de la capa de rodadura es de 0.18 - 0.2 m.

Figura 3.2.2.2 Medición de la capa de rodadura.



Fuente: Elaboración propia.

- El tipo de capa de rodadura que tiene es un suelo aluvial canto rodado.
- Este tramo no tiene subrasante ya que el terreno donde está ubicado el tramo es de piedra laja.

Figura 3.2.2.3 Tipo de terreno



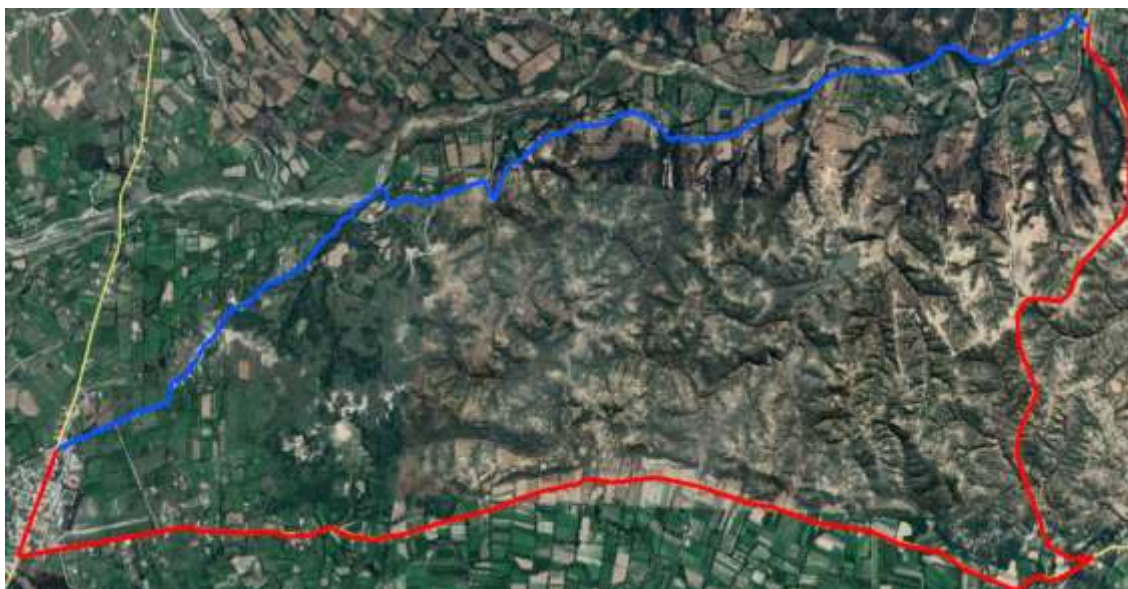
Fuente: Elaboración propia.

- Luego de realizar los ensayos de caracterización en laboratorio se tienen que la capa de rodadura es un suelo tipo A-1-b (0).

3.2.3 Tramo Tolomosa y San Andrés

Se eligió este tramo ya que es una vía terciaria no pavimentada directa que unen los dos municipios y por eso sería un tramo usado tanto por los habitantes de los municipios como por las personas que transiten por este tramo, existe otra ruta para llegar de un municipio al otro, pero el costo de operación sería mayor ya que la distancia estimada sería de 9.73 km (se observa en la figura la ruta de color rojo) comparada con el tramo de la vía terciaria no pavimentada que es de 6.84 km (se observa en la figura la ruta de color azul). También tomando en cuenta que el otro tramo no es asfaltado en su totalidad.

Figura 3.2.3.1 Vista satelital, ubicación de los tramos que unen los 2 municipios.



Fuente: Programa informático google earth.

Las características de este tramo son las siguientes:

- El ancho de la vía es de 2.8 - 3 m.

Figura 3.2.3.2 Medición del ancho del tramo.



Fuente: Elaboración propia.

- La altura de la capa de rodadura es de 0.15 - 0.18 m.

Figura 3.2.3.3 Medición de la capa de rodadura.



Fuente: Elaboración propia.

- El color de suelo que tiene es un gris claro.
- El tipo de capa de rodadura que tiene es un suelo aluvial canto rodado.
- El tipo de suelo de subrasante que tiene es un suelo fino.
- Luego de realizar los ensayos de caracterización en laboratorio se tienen que la capa de rodadura es un suelo tipo A-1-b (0) y la capa sub rasante es un suelo A-4 (5)

3.2.4 Tramo San Juan y Impora.

Se eligió este tramo porque es el único tramo que une estas 2 comunidades, además que es muy usado por las comunidades que están contenidas en el tramo como también otras personas que transitan por la misma que quieren llegar de un punto a otro y tienen que pasar por este tramo (caso Tupiza-Tarija).

Las características de este tramo son las siguientes:

- El ancho de la vía es de 5.5 – 5.7 m.

Figura 3.2.4.1 Medición del ancho del tramo.



Fuente: Elaboración propia.

- La altura de la capa de rodadura es de 0.12 - 0.15 m.

Figura 3.2.4.2 Medición de la capa de rodadura.



Fuente: Elaboración propia.

- El color de suelo que tiene es un color rojo (colorado).
- El tipo de capa de rodadura que tiene es un suelo aluvial canto rodado.
- El tipo de suelo de subrasante que tiene es un suelo fino.
- Luego de realizar los ensayos de caracterización en laboratorio se tienen que la capa de rodadura es un suelo tipo A-1-b (0) y la capa sub rasante es un suelo A-4 (1)

3.3 MUESTREO DEL MATERIAL

Para realizar el trabajo de proyecto de grado, que sería la caracterización del mismo en laboratorio se trabajó muestras que estén en lo más posible inalteradas.

Para conservar las propiedades lo más eficientemente se usó bolsas de plástico para evitar la pérdida de sus características.

3.3.1 Equipo utilizado

Se utilizó el siguiente equipo para la extracción de las muestras:

- Pala, picota, bolsas de plástico y barreno.

3.3.2 Procedimiento para la extracción de las muestras de suelo

Primero se realizó la extracción de la muestra de la capa de rodadura que es el material granular y este se encuentra en la parte superficial de la carretera se escarbo de unos 5 a 10 cm con el fin de evitar materia orgánica presente en el lugar y que la muestra sea limpia y representativa, luego se escarbo por debajo de ese margen y se obtuvo la muestra de la capa de rodadura que se colocó en una bolsa plástica.

La cantidad de muestra que se extrajo fue entre 70 a 90 kg por punto, para realizar todos los ensayos necesarios para el proyecto.

Luego se procedió a realizar la extracción de la muestra de suelo de la capa subrasante del mismo punto o lugar de la capa de rodadura que se extrajo anteriormente que se encontraba a unos 20 a 30 cm debajo de la superficie de la carretera se escarbó los 30 cm (capa de rodadura), luego se obtuvo la muestra de la capa subrasante que se colocó en una bolsa plástica.

La cantidad de muestra que se extrajo fue entre 70 a 90 kg por punto, para realizar todos los ensayos necesarios para el proyecto.

3.3.2..1 Tramo Carachimayo y Sella Méndez

Figura 3.3.2.1 Identificación del lugar y extracción de la muestra.



Ubicación del tramo.



Extracción de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2..2 Tramo Santa Barbara Grande y Tucumillas

Figura 3.3.2.2 Identificación del lugar y extracción de la muestra.



Ubicación del tramo.



Extracción de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2..3 Tramo Tolomosa y San Andrés

Figura 3.3.2.3 Identificación del lugar y extracción de la muestra.



Ubicación del tramo.



Extracción de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2..4 Tramo San Juan y Impora.

Figura 3.3.2.4 Identificación del lugar y extracción de la muestra.



Ubicación del tramo.



Extracción de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 OBTENCIÓN DEL MATERIAL GEOSINTÉTICO

Se utilizó dos geotextiles para esta investigación, que se obtuvieron de la siguiente manera:

El primer geotextil se lo obtuvo realizando la compra del mismo en el departamento de Tarija. Geotextil no tejido (GTX 019M). En los ensayos se toma como geosintético tipo 1.

Figura 3.4.1 Geotextil que se compró.



Fuente: Elaboración propia.

El segundo geotextil se obtuvo de la alcaldía (SEDECA – TARIJA)⁸. Geotextil no tejido (NT 1600). En los ensayos se toma como geosintético tipo 2.

Figura 3.4.2 Geotextil que se obtuvo de SEDECA.



Fuente: Elaboración propia.

Las características de los geosintéticos (geotextiles) se encuentran en el anexo D.

⁸ Ver Anexo F

3.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Se lo realizó para conocer las propiedades de los suelos utilizados en el proyecto esto se ha realizado mediante los ensayos según el **manual de ensayos de suelos y materiales** (ABC).

3.5.1 S0202. Procedimientos para la preparación de muestras de suelos por cuarteo (AASHTO T248)

Este procedimiento nos sirve para dividir las muestras de suelos obtenidas en el campo, para obtener porciones que sean representativas y que tengan los tamaños adecuados para los diferentes ensayos que se necesite desarrollar.

Hay procedimientos manuales y mecánicos; de acuerdo con el tamaño de la muestra de campo y el de la muestra requerida.

Se realizó por el método A como nos indica en la norma ABC (S0202), que sería por el cuarteo manual sobre muestras que pesan más de 10 kg. que se encuentran relativamente secas.

Primero se esparce el material en una base limpia y se procede a dividir en 4 para luego tomar como muestra dos partes de las cuatro que las mismas se usarán luego para los ensayos requeridos.

Figura 3.5.1 Cuarteo del material.



Muestra dividida en cuatro.



Porciones que se usaran para los ensayos

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 S0302. Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88)

Este ensayo o método nos permite, mediante el tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0.075 mm. De una muestra de suelo.

Procedimiento:

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado para el suelo granular (capa de rodadura) se realizó mediante el método del lavado porque se tenía suelo grueso con materia fina unidas. Se tomó como peso total entre 3 a 4.5 kg para cada punto, se secó el material y luego se pesó nuevamente para tener el peso seco y se procedió a realizar el lavado en la malla N° 200 de acuerdo a la norma ABC (S0302), pero también se usó la malla N° 4 para proteger la malla N° 200 de las partículas grandes que la pudieran dañar, todo el material retenido en la malla N°4 y N° 200 se lo hizo secar en el horno para luego tamizarlo por los siguientes tamices: 3", 2 ½ ", 2", 1 ½ ", 1", ¾", ½", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40 y N° 200. Para luego realizar el pesaje del material retenido en cada malla y con los datos obtenidos poder realizar el trabajo de gabinete de este ensayo.

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado para el suelo fino (capa subrasante) se realizó mediante el método del lavado, se tomó como peso total entre 1 a 1.5 kg para cada punto, se secó el material y luego se pesó nuevamente para tener el peso seco. En la mayoría de los puntos se tomó una muestra entre 500 gr. a 550 g Del material que pase el tamiz N°10 y se procedió a realizar el lavado en la malla N° 200 de acuerdo a la norma ABC (S0302), pero también se usó la malla N° 40 para proteger la malla N° 200 de las partículas grandes que la pudieran dañar, todo el material retenido en la malla N°4 y N° 200 se lo hizo secar en el horno para luego tamizarlo por los siguientes tamices: N° 40 y N° 200. Para luego realizar el pesaje del material retenido en cada malla y con los datos obtenidos poder realizar el trabajo de gabinete de este ensayo.

Figura 3.5.2.1 Análisis granulométrico (suelo granular).



Muestra seca.



Lavado de toda la muestra.



Muestra seca.



Tamizado de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5.2.2 Análisis granulométrico (suelo Fino).



Lavado del material.



Muestra seca.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de los análisis granulométricos.

Tabla 3.5.2.1 Resumen granulométrico tramo 1.

Subrasante				
% Que pasa	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Tamiz N°4	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz N°10	100.0	98.5	98.1	98.7
Tamiz N°40	86.3	82.8	93.1	95.0
Tamiz N°200	68.2	65.3	85.3	87.1
Capa de rodadura				
% Que pasa	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Tamiz 3"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 2 1/2"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 2"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 1 1/2"	92.7	92.6	92.2	100.0
Tamiz 1"	79.9	85.5	76.2	89.9
Tamiz 3/4"	74.1	79.6	69.9	83.8
Tamiz 1/2"	69.0	75.7	62.9	74.3
Tamiz 3/8"	65.1	73.1	58.0	67.6
Tamiz N°4	56.7	64.5	46.2	50.1
Tamiz N°10	46.2	52.2	34.9	36.9
Tamiz N°40	29.9	34.6	23.6	24.7
Tamiz N°200	16.7	19.6	15.4	16.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.2.2 Resumen granulométrico tramo 2.

Capa de rodadura								
% Que pasa	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8
Tamiz 3"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 2 1/2"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 2"	95.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.2
Tamiz 1 1/2"	92.3	100.0	96.1	95.3	87.0	98.4	91.9	86.9
Tamiz 1"	81.5	94.3	86.1	91.2	80.6	87.2	78.5	76.6
Tamiz 3/4"	75.2	84.1	74.8	83.5	74.3	79.0	69.5	69.6
Tamiz 1/2"	65.9	70.8	64.4	72.3	64.1	64.4	62.0	59.9
Tamiz 3/8"	61.3	63.4	58.9	65.1	58.4	56.6	57.4	56.0
Tamiz N°4	49.9	49.4	47.1	49.4	45.1	44.1	48.1	46.6
Tamiz N°10	40.1	37.0	42.3	36.0	34.3	33.5	38.7	38.1
Tamiz N°40	30.7	26.5	30.3	23.8	22.5	23.2	26.6	26.4
Tamiz N°200	20.8	17.7	22.2	15.0	15.1	15.5	15.6	15.7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.2.3 Resumen granulométrico tramo 3.

Subrasante				
% Que pasa	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Tamiz N°4	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz N°10	92.3	98.8	92.2	94.5
Tamiz N°40	81.1	91.0	71.0	80.6
Tamiz N°200	61.2	60.7	61.6	59.8
Capa de rodadura				
% Que pasa	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Tamiz 3"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 2 1/2"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 2"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 1 1/2"	89.6	85.3	91.6	92.7
Tamiz 1"	78.9	75.2	80.6	78.2
Tamiz 3/4"	70.1	67.5	72.6	69.3
Tamiz 1/2"	62.3	60.4	61.1	59.2
Tamiz 3/8"	54.9	56.4	55.4	54.9
Tamiz N°4	48.1	49.2	46.2	47.5
Tamiz N°10	39.9	42.2	39.3	42.6
Tamiz N°40	29.9	32.8	29.2	31.2
Tamiz N°200	16.6	22.0	17.6	20.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.2.4 Resumen granulométrico tramo 4.

Subrasante				
% Que pasa	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Tamiz 3/8"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz N°4	95.9	95.3	95.0	93.6
Tamiz N°10	82.3	84.1	80.6	81.2
Tamiz N°40	65.7	64.9	61.0	58.2
Tamiz N°200	41.1	39.7	41.3	38.3
Capa de rodadura				
% Que pasa	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Tamiz 3"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 2 1/2"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 2"	100.0	100.0	100.0	100.0
Tamiz 1 1/2"	89.1	86.2	90.7	88.6
Tamiz 1"	79.1	75.9	80.1	76.7
Tamiz 3/4"	70.8	67.4	72.5	66.5
Tamiz 1/2"	63.3	59.7	61.8	56.6
Tamiz 3/8"	56.4	54.0	55.7	50.0
Tamiz N°4	49.7	46.7	47.5	43.2
Tamiz N°10	43.7	40.4	39.2	35.1
Tamiz N°40	28.5	29.4	27.4	25.0
Tamiz N°200	17.2	17.3	18.6	15.8

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 S0304. Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318 AASHTO T89)

Se determina mediante el método de la cuchara de casa grande. El ensayo se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que se puede contener en una. El ensayo se da por válido cuando se obtiene determinaciones (número de golpes) entre el rango de 10 a 45 golpes como nos indica en el manual de ensayos de la ABC, como también el manual nos indica que tenemos que tener 5 puntos se opta por tener los puntos entre los siguientes rangos de golpes 15-20; 20-25; 25-30; 30-35 y 35- 40 para tener una buena gráfica de número de golpes vs humedad. La humedad correspondiente al límite líquido se da a los 25 golpes y se determina interpolando mediante una gráfica normalizada.

Procedimiento:

Primero se verificó que el equipo de casa grande este correctamente calibrado, luego se tamizó una cantidad de 150 gr. a 250 gr. por el tamiz N°40, se realizó la mezcla del material con el líquido para formar una pasta que luego esta se puso en la cuchara de casa grande, se realiza la ranura con el ranurador para proceder a realizar los golpes a una frecuencia de dos golpes por segundo, se realizar la cantidad de golpes hasta que los labios de la ranura se unan 1 cm, se procede a sacar una muestra y ponerla a secar para realizar el trabajo de gabinete.

Conociendo la hermenéutica de cálculo de porcentajes de humedad se diseña una gráfica según dichos porcentajes y el número de golpes respectivos; una vez definidos los puntos, se traza una recta que una la mayoría de estos, siendo el Límite Líquido el porcentaje de humedad que corte horizontalmente la intersección de la recta graficada y la vertical de 25 golpes.

Para una gran parte de los suelos granulares no se pudo realizar el ensayo con eficiencia ya que el mismo no tenía una cantidad de material fino y por ese motivo no se los realizó satisfactoriamente. Se adjunto imágenes (ver figura 3.5.3.2) que comprueban lo anterior.

Figura 3.5.3.1 Ensayo límite líquido.



Calibrando el equipo.



Muestra lista para ranurar.



Muestra para secar.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5.3.2 Ensayo límite líquido fallido.



Muestra sin límites.



Muestra sin límites.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 S0305. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 AASHTO T90)

El Límite Plástico de un suelo es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia plástica y semisólida.

Procedimiento: Se considera que un suelo está en su límite plástico, cuando al amasarlo sobre una superficie lisa, que no absorba humedad, hasta formar una hebra o rollito cilíndrico, se comienza a agrietar al llegar a un diámetro de 3 mm. Una vez llegado el límite se coloca las porciones en una cápsula y se calcula el porcentaje de humedad.

Figura 3.5.4.1 Ensayo límite plástico.



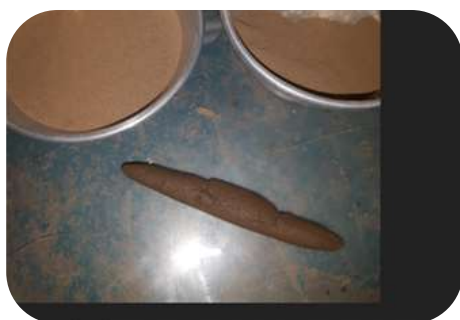
Equipo para el ensayo.



Muestra lista para secar.

Fuente: Elaboración propia.

Para una gran parte de los suelos granulares no se pudo realizar el ensayo con eficiencia ya que el mismo no tenía una cantidad de material fino y por ese motivo no se los realizó satisfactoriamente. Se adjunto imágenes (ver figura 3.5.4.2) que comprueban lo anterior.

Figura 3.5.4.2 Ensayo límite plástico fallido.

Muestra sin límites.



Muestra sin límites.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de los ensayos límite líquido y límite plástico.

Índice de Plasticidad. - Este método tiene por objeto definir el Índice de Plasticidad de los suelos, que no es otra cosa que el valor numérico de la diferencia entre el Límite Líquido (L.L.) y el Límite Plástico (L.P.).

Tabla 3.5.5.1 Resumen límites tramo 1.

Subrasante				
Límites	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
LL	26	27	45	45
LP	21	21	24	25
IP	5	6	21	19
Capa de rodadura				
Límites	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
LL	NO PLÁSTICO			
LP				
IP				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.5.2 Resumen límites tramo 2.

Capa de rodadura				
Límites	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
LL	16	16	15	15
LP	13	13	13	12
IP	2	4	2	3
Límites	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8
LL	15	NO PLÁSTICO		
LP	12			
IP	3			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.5.3 Resumen límites tramo 3.

Subrasante				
Límites	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
LL	24	24	20	23
LP	21	21	18	20
IP	3	3	2	3
Capa de rodadura				
Límites	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
LL	NO PLÁSTICO			
LP				
IP				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.5.4 Resumen límites tramo 4.

Subrasante				
Límites	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
LL	17	18	18	17
LP	15	14	15	15
IP	2	4	3	2
Capa de rodadura				
Límites	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
LL	NO PLÁSTICO			
LP				
IP				

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5 Clasificación de los suelos según AASHTO Y S.U.C.S.

Resumen de la clasificación.

Tabla 3.5.6.1 Resumen clasificación tramo 1.

Subrasante				
Clasificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
SUCS:	ML - OL	ML - OL	CL	CL
AASHTO:	A-4 (6)	A-4 (6)	A-7-6 (13)	A-7-6 (13)
Capa de rodadura				
Clasificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
SUCS:	GM	GM	GM	GM
AASHTO:	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 3.5.6.2** Resumen clasificación tramo 2.

Capa de rodadura				
Clasificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
SUCS:	GM	GM	GM	GM
AASHTO:	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)
Clasificación	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8
SUCS:	GM	GM	GM	GM
AASHTO:	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 3.5.6.3** Resumen clasificación tramo 3.

Subrasante				
Clasificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
SUCS:	ML	ML	ML	ML
AASHTO:	A-4 (5)	A-4 (5)	A-4 (5)	A-4 (5)
Capa de rodadura				
Clasificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
SUCS:	GM	GM	GM	GM
AASHTO:	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.6.4 Resumen clasificación tramo 4.

Subrasante				
Clasificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
SUCS:	SM	SM	SM	SM
AASHTO:	A-4 (1)	A-4 (1)	A-4 (1)	A-4 (1)
Capa de rodadura				
Clasificación	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
SUCS:	GM	GM	GM	GM
AASHTO:	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6 S0403. Relaciones de peso unitario – humedad en los suelos –método modificado (ASTM D422 AASHTO T180)

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad óptima (CHO) y la densidad seca máxima de un suelo, compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 4,5 Kg. En caída libre, desde una altura de 460 mm, con una energía específica de compactación de $2,67 \text{ J/cm}^3$ ($= 27,2 \text{ kgf cm/cm}^3$).

El suelo al tener contacto con el agua y al ser mezclado, facilita su compactación de un suelo seco para poder encontrar su humedad óptima y así alcanzar la máxima densidad de un suelo con una misma energía de compactación.

Procedimiento:

Para realizar el ensayo se preparo una muestra de suelo de 27.5 kilogramos de suelo seco para luego proceder a dividir en muestras de 5.5 kg para así tener 5 muestras para poder realizar el ensayo.

Luego cada muestra se mezcló en una fuente con una cierta cantidad de agua para los suelos granulares la cantidad de agua se fue aumentando progresivamente en 3 por ciento para cada molde y para los suelos finos la cantidad de agua se fue aumentando progresivamente en 4 por ciento para cada molde, luego se procede a compactar en el cilindro metálico en 5 capas consecutivas con la misma energía de compactación (56 golpes), una vez compactado se enraza y se pesa el molde más suelo húmedo,

posteriormente se desmolda y se saca una muestra de suelo compactado de la parte media o central para colocarlo en una cápsula, pesarlo y hacer secar en el horno. Este procedimiento se repite para los 5 moldes de cada suelo.

Figura 3.5.7 Ensayo proctor modificado.



Muestras.



Molde enrasado.



Obtencion de muestras.



Muestras para secado.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo Proctor modificado

Tabla 3.5.7.1 Resumen proctor modificado tramo 1.

	A-1-b (0)	A-4 (6)	A-7-6 (13)
Humedad óptima %	7.1	12.2	13.6
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.153	1.828	1.784

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.7.2 Resumen Proctor modificado tramo 2.

	A-1-b (0)
Humedad óptima %	6.955
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.177

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.7.3 Resumen proctor modificado tramo 3.

	A-1-b (0)	A-4 (5)
Humedad óptima %	5.8	9.9
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.131	1.879

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.7.4 Resumen proctor modificado tramo 4.

	A-1-b (0)	A-4 (1)
Humedad óptima %	5.1	7.7
Densidad máxima (gr/cm ³)	2.265	2.154

Fuente: Elaboración propia.

3.5.7 S0404. Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193)

Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensaye se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

El ensayo de C.B.R se realizó de acuerdo a la manual de ensayos de la ABC (S0404), para obtener la resistencia del suelo y así evaluar la capacidad de soporte del suelo en la capa subrasante, capa de rodadura de una vía.

Procedimiento:

Primeramente, se secó una muestra mayor a 18 kg. luego se procedió a pesar una cantidad de 18 kg. Esta misma luego se dividió en 3 para los 3 moldes que se necesitan para el ensayo, teniendo las muestras para cada molde se procede a humedecer homogéneamente la muestra con la humedad óptima obtenida anteriormente en el ensayo de Proctor, se compacta el suelo a diferentes energías de compactación; la primera con 12 golpes, la segunda con 25 golpes y la tercera con 56 golpes por cada molde.

Las muestras elaboradas bajo este procedimiento, se sometieron a un proceso de inmersión en agua, para simular las condiciones de saturación a las cuales podrían estar sometidos los suelos como la capa subrasante de una carretera y de esta forma obtener los CBR de los suelos bajo las condiciones más críticas, esto durante un periodo mínimo de 96 horas, se colocan unas pesas en forma de herradura sobre los moldes para simular las cargas tanto de los vehículos como la de la estructura del pavimento y por otro lado determinar su expansión efectuando las lecturas con un extensómetro debidamente calibrado.

El ensayo de penetración se basa en la aplicación de una presión a una velocidad normalizada de forma creciente efectuada mediante la prensa a la que va acoplado un pistón de sección anular sobre la muestra de suelo compactado con la humedad óptima.

Luego de hacer el ensayo de penetración se procede a sacar muestras de la parte superior, inferior y segundo superior para determinar sus densidades secas.

Figura 3.5.8 Ensayo CBR.

Muestra enrasada.



Muestras listas para sumergir.



Medición de la expansión.



Realizando la penetración.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo CBR

Tabla 3.5.8.1 Resumen CBR tramo 1.

	A-1-b (0)	A-4 (6)	A-7-6 (13)
CBR 100% D. Máx.	70	7	4
CBR 95% D. Máx.	30	5	4
D. Máx. (gr/cm ³)	2.153	1.828	1.784
Hum. Ópt. (%)	7.127	12.211	13.556

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.8.2 Resumen CBR tramo 2.

	A-1-b (0)
CBR 100% D. Máx.	99
CBR 95% D. Máx.	23
D. Máx. (gr/cm ³)	2.177
Hum. Ópt. (%)	6.955

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.8.3 Resumen CBR tramo 3.

	A-1-b (0)	A-4 (5)
CBR 100% D. Máx.	81	11
CBR 95% D. Máx.	25	8
D. Máx. (gr/cm ³)	2.131	1.879
Hum. Ópt. (%)	5.825	9.929

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5.8.4 Resumen CBR tramo 4.

	A-1-b (0)	A-4 (1)
CBR 100% D. Máx.	55	14
CBR 95% D. Máx.	26	11
D. Máx. (gr/cm ³)	2.265	2.154
Hum. Ópt. (%)	5.117	7.713

Fuente: Elaboración propia.

El trabajo de gabinete completo tanto como de la caracterización, compactación, CBR. Se encuentran en el anexo B.

3.6 PRUEBAS (ENSAYOS) QUE SE REALIZARÁN PARA EL USO DE GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZOS

3.6.1 Ensayo S0404. Determinación de la relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) (ASTM D1883 AASHTO T193)

Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensaye se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

Todos los ensayos de penetración se realizaron con moldes con muestra a humedad óptima.

Procedimiento:

Primeramente, se secó una muestra mayor a 18 kg. luego se procedió a pesar una cantidad de 18 kg. Esta misma luego se dividió en 3 para los 3 moldes que se necesitan para el ensayo, teniendo las muestras para cada molde se procede a humedecer homogéneamente la muestra con la humedad óptima obtenida anteriormente en el ensayo de Proctor, se compacta el suelo a una misma energía de compactación (56 golpe) por cada capa.

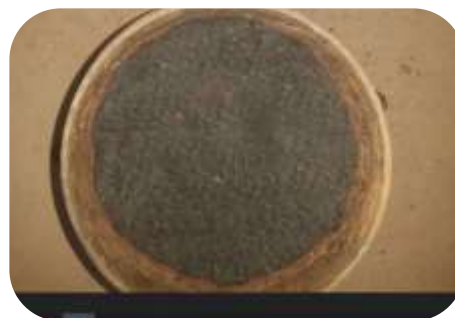
Luego de tener los moldes listos con el geosintético se procedió a realizar el ensayo de penetración, para luego realizar el trabajo de gabinete con los datos obtenidos de este ensayo.

Este ensayo se realizará en diferentes combinaciones con el geosintético y las muestras de suelo.

Figura 3.6.1 Ensayo que se realizó a las muestras con el uso del geosintético.



Muestra compactada.



Puesta del geosintético tipo 1.



Puesta del geosintético tipo 2.



Muestra Final.



Penetración de la muestra..



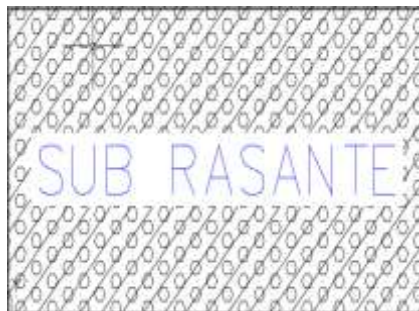
Muestra luego de la penetración

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó ensayos sin geosintético, pero con humedad óptima para compararlos con las muestras con geosintético.

3.6.2 Ensayo sin geosintéticos solo de la capa subrasante

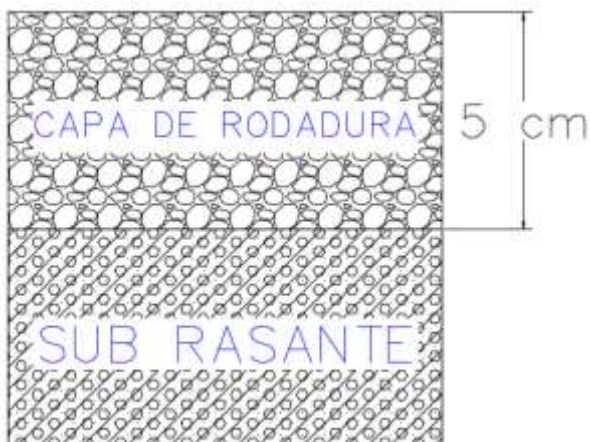
Figura 3.6.2 Capa subrasante sin geosintético.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.3 Ensayo sin geosintéticos capa subrasante y con la capa de rodadura

Figura 3.6.3 Capa subrasante y capa de rodadura sin geosintético.



Fuente: Elaboración propia.

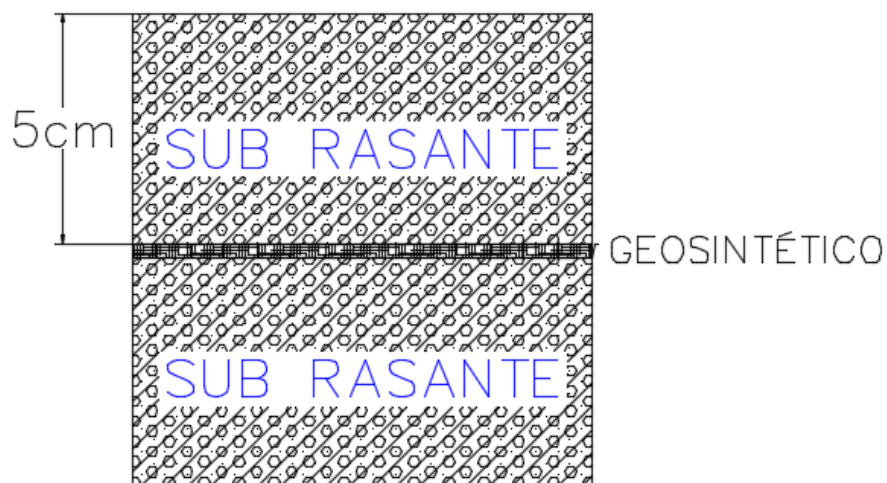
3.6.4 Combinaciones que se realizarán con el geosintético y las muestras de suelo

Estas combinaciones se realizaron con 2 tipos de geosintéticos.

3.6.4.1 Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante

En esta combinación solo se trabajó con suelo de la capa subrasante y el geosintético se lo puso en la mitad de la muestra como se muestra en la figura 3.6.4.1.

Figura 3.6.4.1 Primera combinación con geosintético.

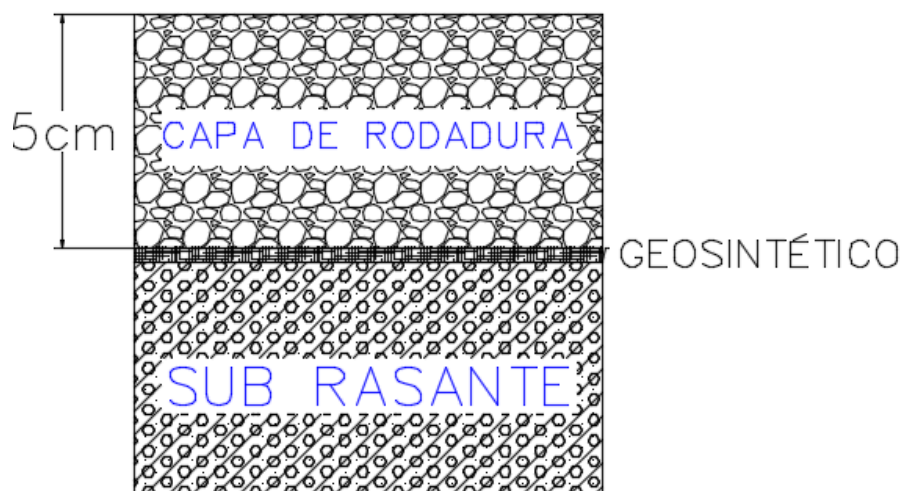


Fuente: Elaboración propia.

3.6.4..2 Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura

En esta combinación se trabajó con muestra de la capa subrasante y muestra de la capa de rodadura y el geosintético se lo puso entre las dos capas que serían la de la subrasante y la capa de rodadura como se muestra en la figura 3.6.4.2.

Figura 3.6.4.2 Segunda combinación con geosintético.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.4.3 Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura

En esta combinación se trabajó con muestra de la capa subrasante y muestra de la capa de rodadura y el geosintético se lo puso en medio de la capa de rodadura como se muestra en la figura 3.6.4.3.

Figura 3.6.4.3 Tercera combinación con geosintético.



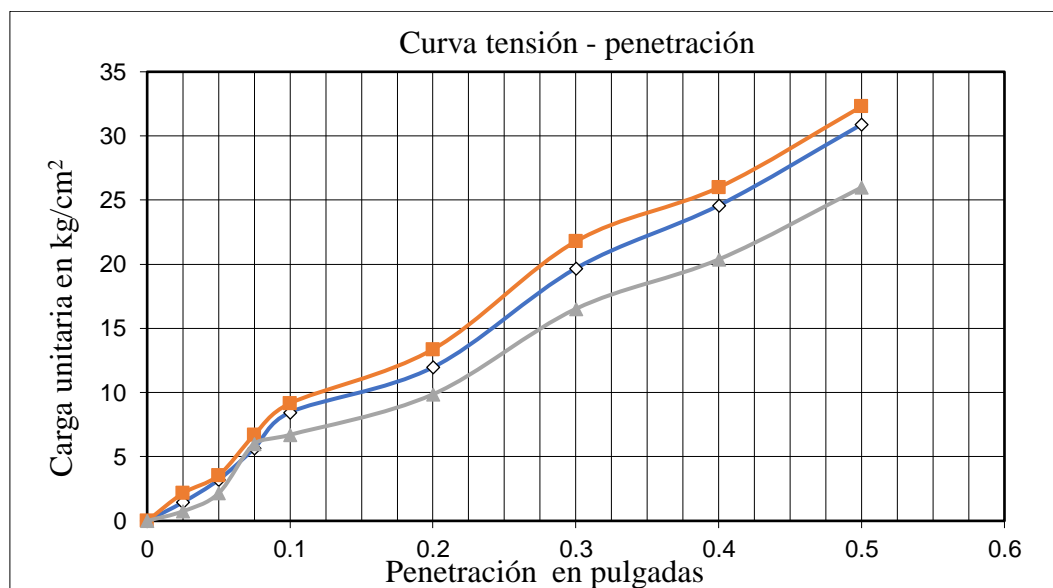
Fuente: Elaboración propia.

3.6.5 Resultados de los ensayos de penetración sin geosintético.

Resultado del tramo 1 Carachimayo y Sella

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (solo capa subrasante A-4(6)).

Figura 3.6.5.1 Curva tensión – penetración capa subrasante tramo 1 (A-4(6)).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.1 Resultados penetración capa subrasante tramo 1 (A-4(6)).

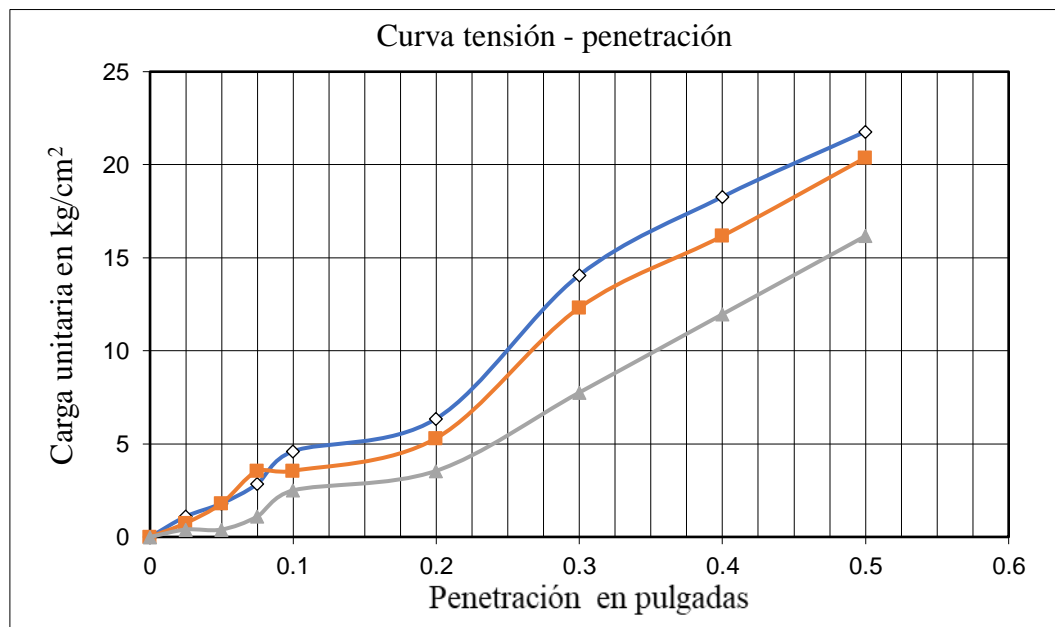
CBR	11.353	12.683	9.358
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	11.131	1.674	9.457 12.805

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	11.353	12.683	9.358
CBR (%) Promedio	12.018		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	11.966	13.368	9.863
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	12.667		

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (solo capa subrasante A-7-6(13)).

Figura 3.6.5.2 Curva tensión – penetración capa subrasante tramo 1 (A-7-6(13)).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.2 Resultados penetración capa subrasante tramo 1 (A-7-6(13)).

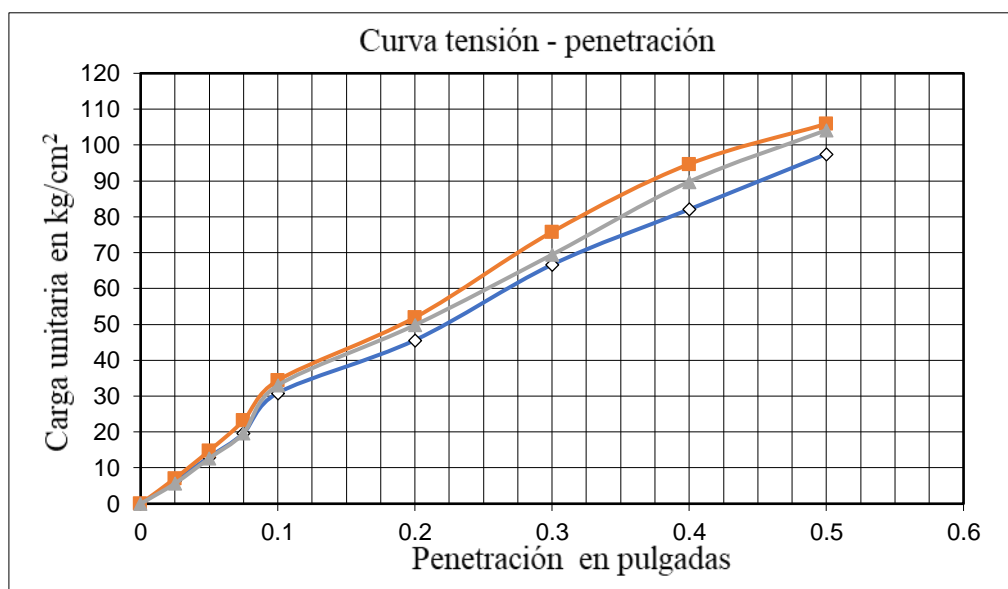
CBR	6.032	5.034	3.371
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	4.812	1.344	3.468
			6.157

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	6.032	5.034	3.371
CBR (%) Promedio	5.533		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	6.358	5.306	3.553
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	5.832		

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (capa subrasante A-4(6) y capa de rodadura A-1-b(0)).

Figura 3.6.5.3 Curva tensión – penetración capa subrasante A-4(6) y capa de rodadura A-1-b(0) tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.3 Resultados penetración capa subrasante A-4(6) y capa de rodadura A-1-b(0) tramo 1.

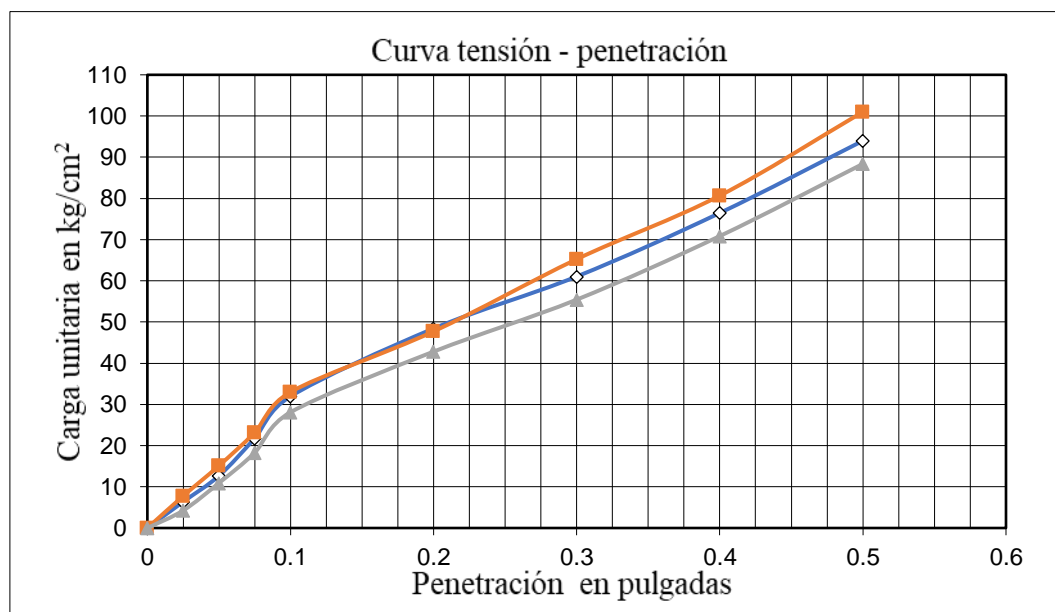
CBR	43.280	49.266	47.271
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
46.606	3.048	43.558	49.654

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	43.280	49.266	47.271
CBR (%) Promedio	48.269		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	45.617	51.927	49.824
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	50.875		

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (capa subrasante A-7-6(13) y capa de rodadura A-1-b(0)).

Figura 3.6.5.4 Curva tensión – penetración capa subrasante A-7-6(13) y capa de rodadura A-1-b(0) tramo 1



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.4 Resultados penetración capa subrasante A-7-6(13) y capa de rodadura A-1-b(0) tramo 1.

CBR	45.941	45.276	40.62
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	43.946	2.899	46.845

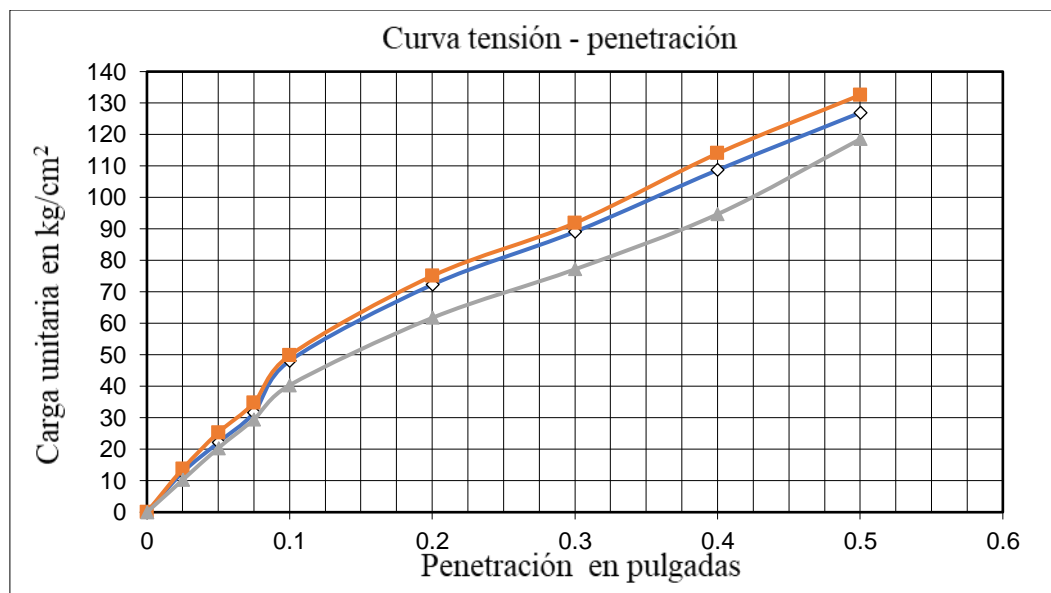
CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	45.941	45.276	40.620
CBR (%) Promedio	45.608		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	48.422	47.721	42.813
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	48.071		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 2 Santa Barbara y Tucumillas

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (solo capa de rodadura A-1-b(0)).

Figura 3.6.5.5 Curva tensión – penetración capa de rodadura tramo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.5 Resultados penetración capa de rodadura tramo 2.

CBR	68.556	71.216	58.578
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	66.117	6.663	59.454 72.779

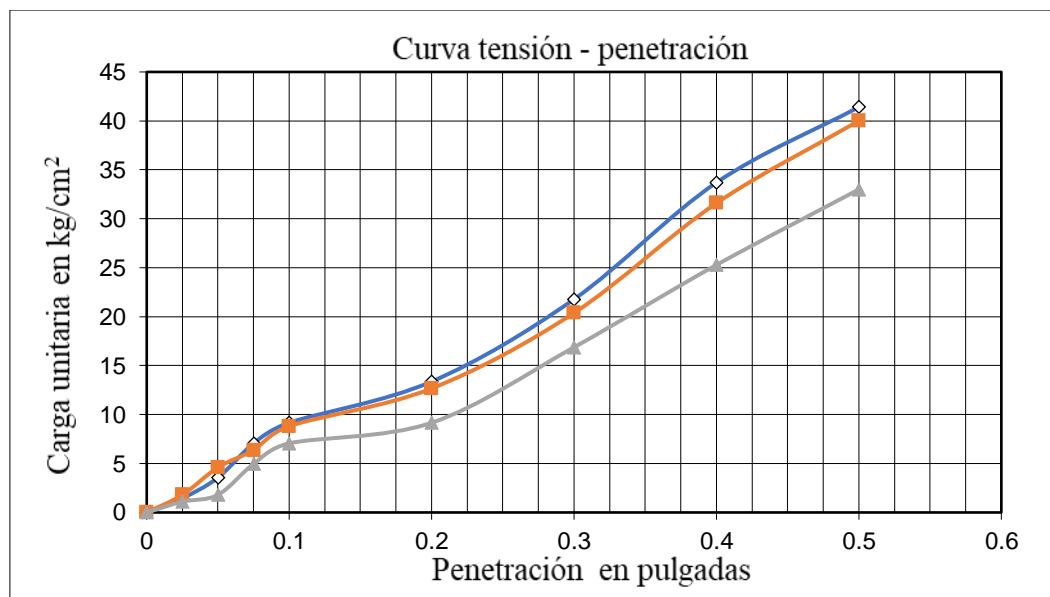
CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	68.556	71.216	58.578
CBR (%) Promedio	69.886		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	72.258	75.062	61.742
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	73.660		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 3 Tolomosa y San Andres

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (solo capa subrasante A-4(5)).

Figura 3.6.5.6 Curva tensión – penetración capa subrasante tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.6 Resultados penetración capa subrasante tramo 3.

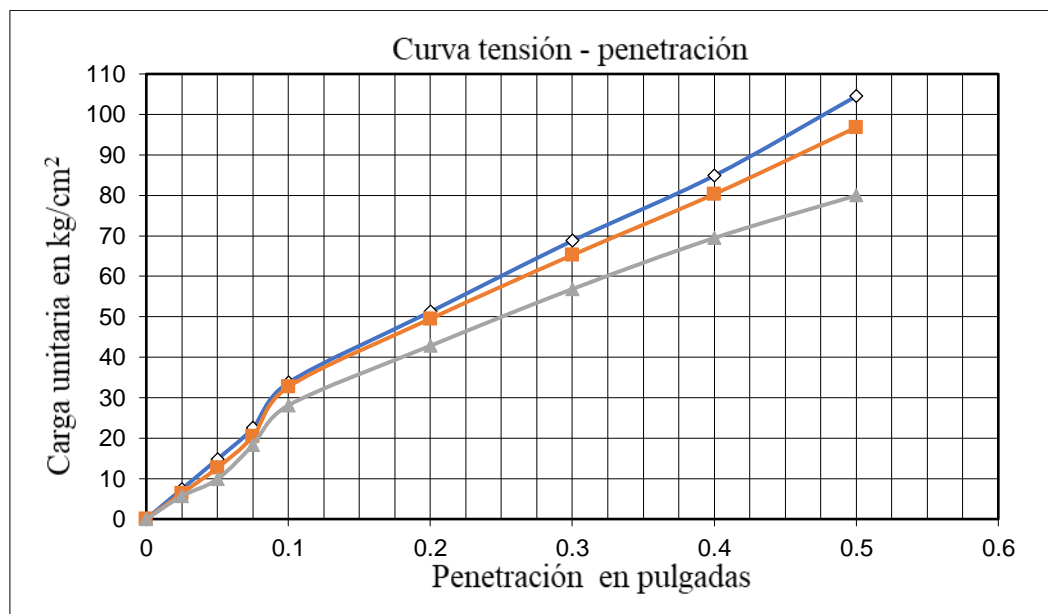
CBR	12.683	12.018	8.692
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	11.131	2.138	8.993
			13.269

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	12.683	12.018	8.692
CBR (%) Promedio	12.351		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	13.368	12.667	9.162
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	13.018		

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (capa subrasante A-4(5) y capa de rodadura A-1-b(0)).

Figura 3.6.5.7 Curva tensión – penetración capa subrasante y capa de rodadura tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.7 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura tramo 3.

CBR	48.601	46.938	40.620	
Media	Desviación	Rango		
		Menor	Mayor	
	45.386	4.211	41.176	49.597

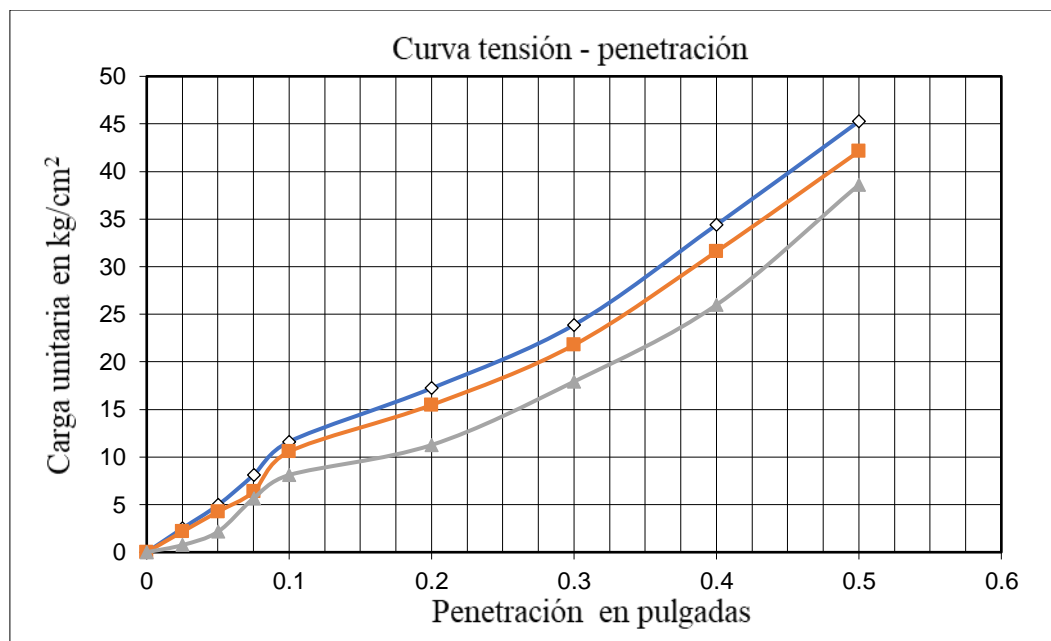
CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	48.601	46.938	40.620
CBR (%) Promedio	47.770		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	51.226	49.473	42.813
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	50.350		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 4 Tolomosa y San Andres

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (solo capa subrasante A-4(1)).

Figura 3.6.5.8 Curva tensión – penetración capa subrasante tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.8 Resultados penetración capa subrasante tramo 4.

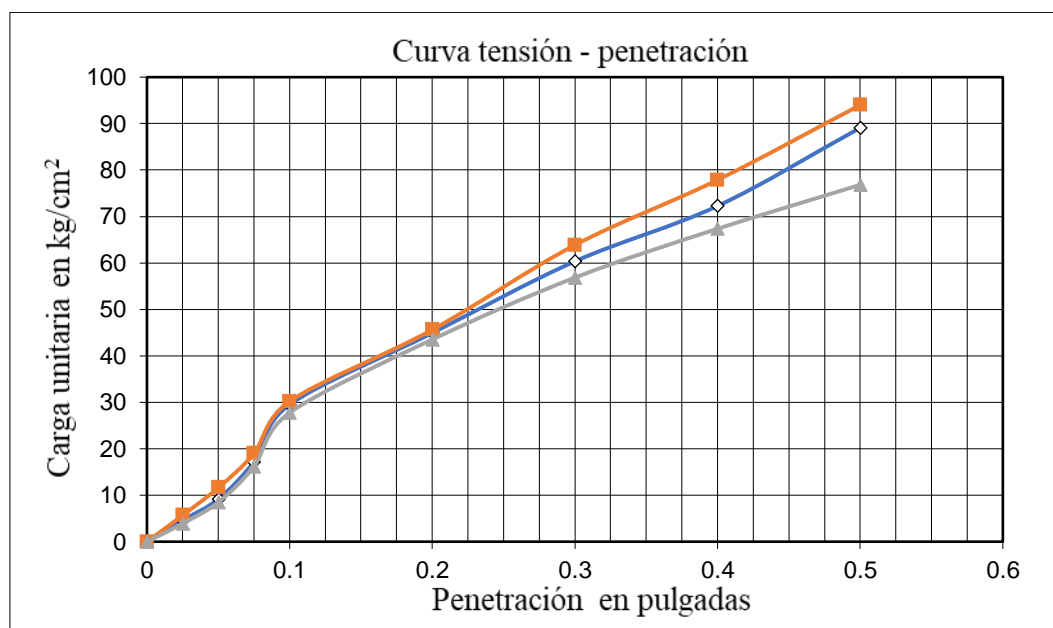
CBR	16.342	14.679	10.688
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	13.903	2.906	10.997
			16.809

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	16.342	14.679	10.688
CBR (%) Promedio	15.510		
Esfuerzo (kg/cm2) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm2) Finales	17.224	15.471	11.265
Esfuerzo (kg/cm2) Promedio	16.348		

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo de penetración sin geosintético (capa subrasante A-4(1) y capa de rodadura A-1-b(0)).

Figura 3.6.5.9 Curva tensión – penetración capa subrasante y capa de rodadura tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.5.9 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura tramo 4.

CBR	42.615	43.280	41.285
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	42.393	1.016	41.378 43.409

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	42.615	43.280	41.285
CBR (%) Promedio	42.948		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	44.916	45.617	43.514
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	45.267		

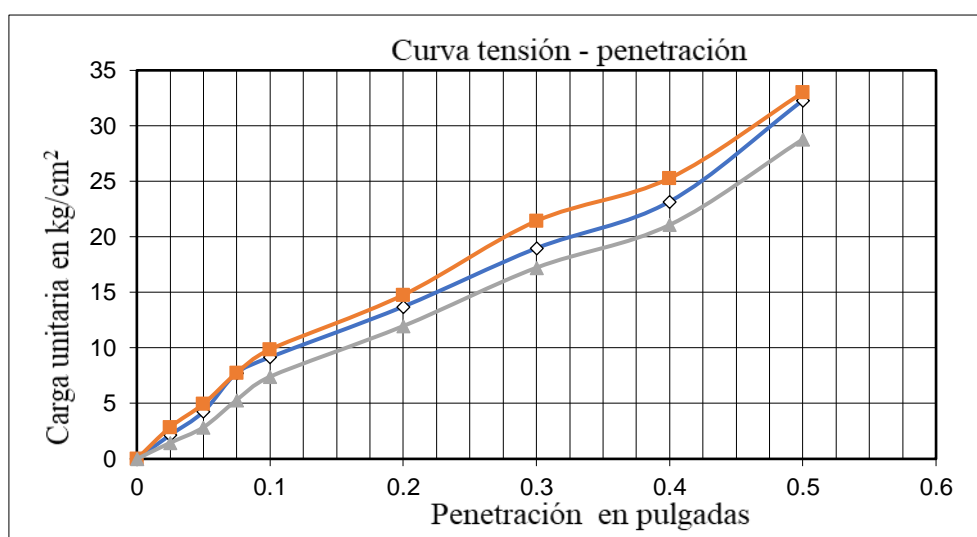
Fuente: Elaboración propia.

3.6.6 Resultados de los ensayos de penetración con refuerzo de los 2 tipos de geosintéticos.

Geosintético tipo 1. Resultado del tramo 1 Carachimayo y Sella.

Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(6).

Figura 3.6.6.1 Curva tensión – penetración capa subrasante A-4(6) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.1 Resultados penetración capa subrasante A-4(6) con geosintético tipo 1 tramo 1.

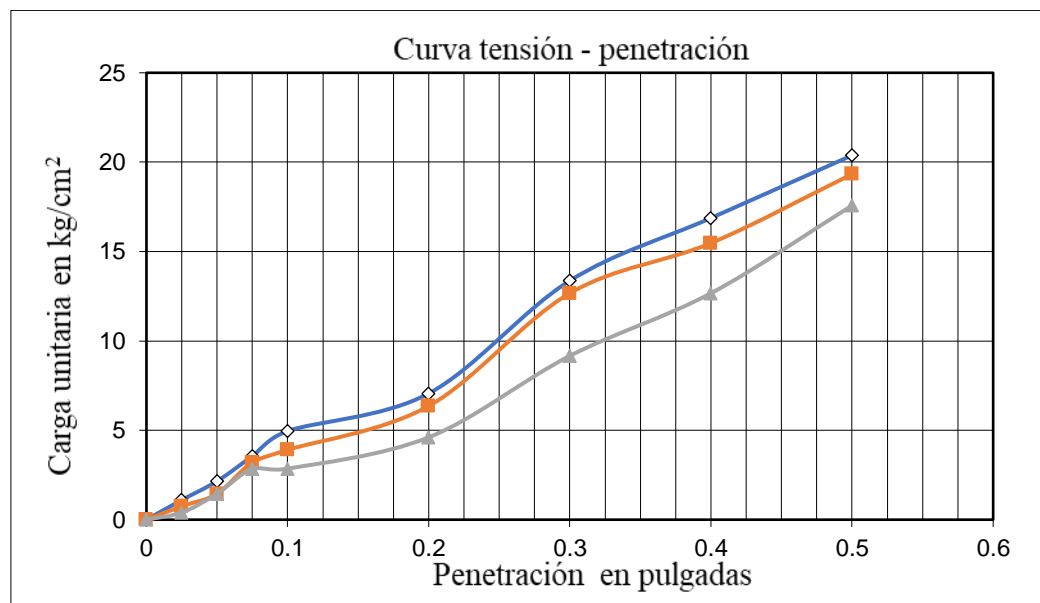
CBR	13.016	14.014	11.353
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	12.794	1.344	11.450 14.139

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	13.016	14.014	11.353
CBR (%) Promedio	13.515		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	13.719	14.770	11.966
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	14.245		

Fuente: Elaboración propia.

Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-7-6(13).

Figura 3.6.6.2 Curva tensión – penetración capa subrasante A-7-6(13) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.2 Resultados penetración capa subrasante A-7-6(13) con geosintético tipo 1 tramo 1.

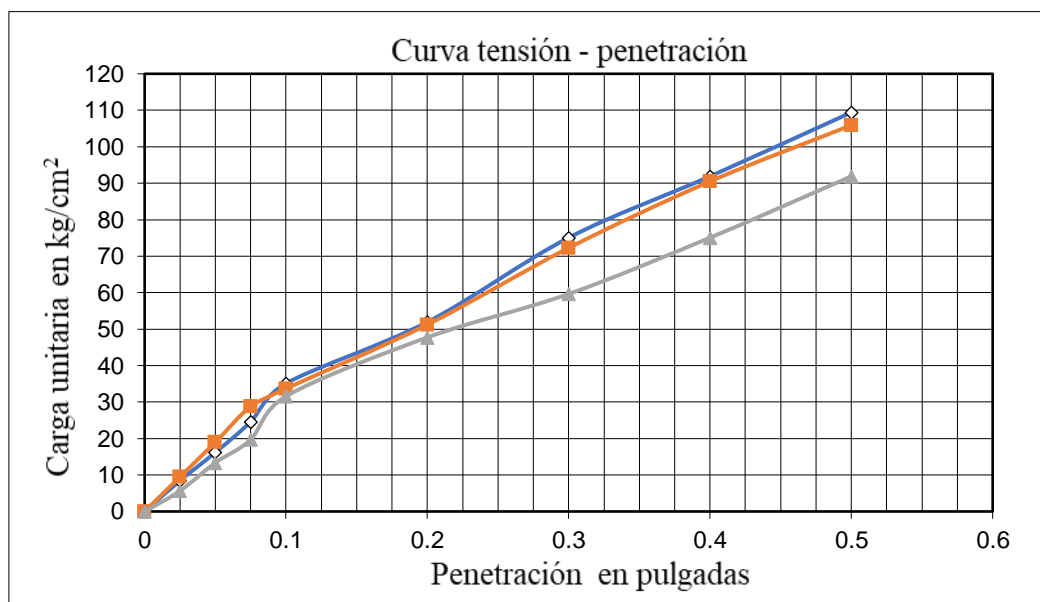
CBR	6.697	6.032	4.369
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	5.699	1.199	4.500
			6.898

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	6.697	6.032	4.369
CBR (%) Promedio	6.364		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	7.059	6.358	4.605
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	6.708		

Fuente: Elaboración propia.

Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.3 Curva tensión – penetración capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.3 Resultados penetración capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.

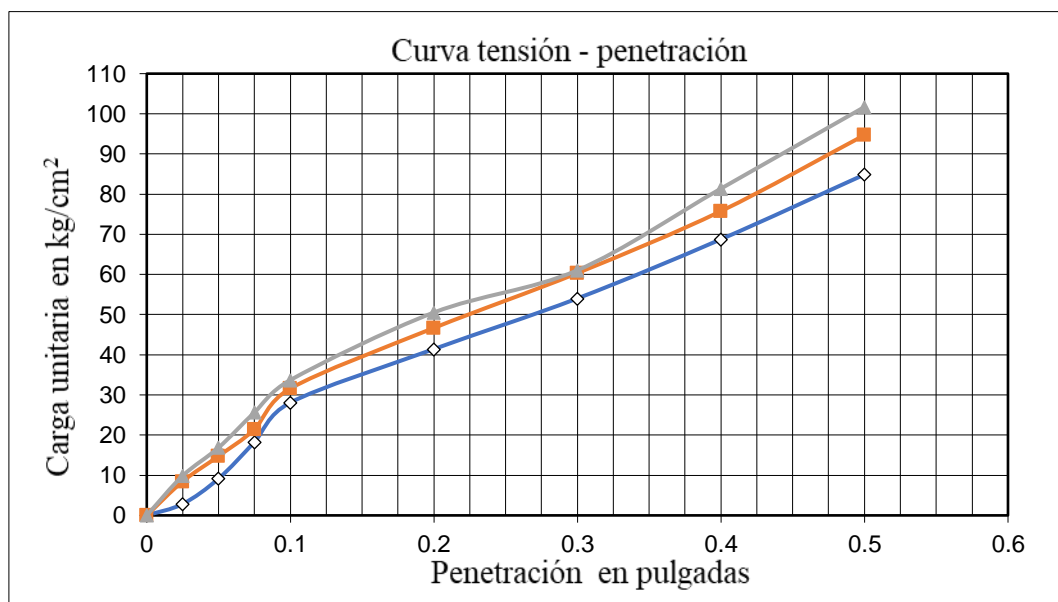
CBR	49.266	48.601	45.276
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	47.714	2.138	45.577 49.852

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	49.266	48.601	45.276
CBR (%) Promedio	48.934		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	51.927	51.226	47.721
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	51.576		

Fuente: Elaboración propia.

Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.4 Curva tensión – penetración capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.4 Resultados penetración capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.

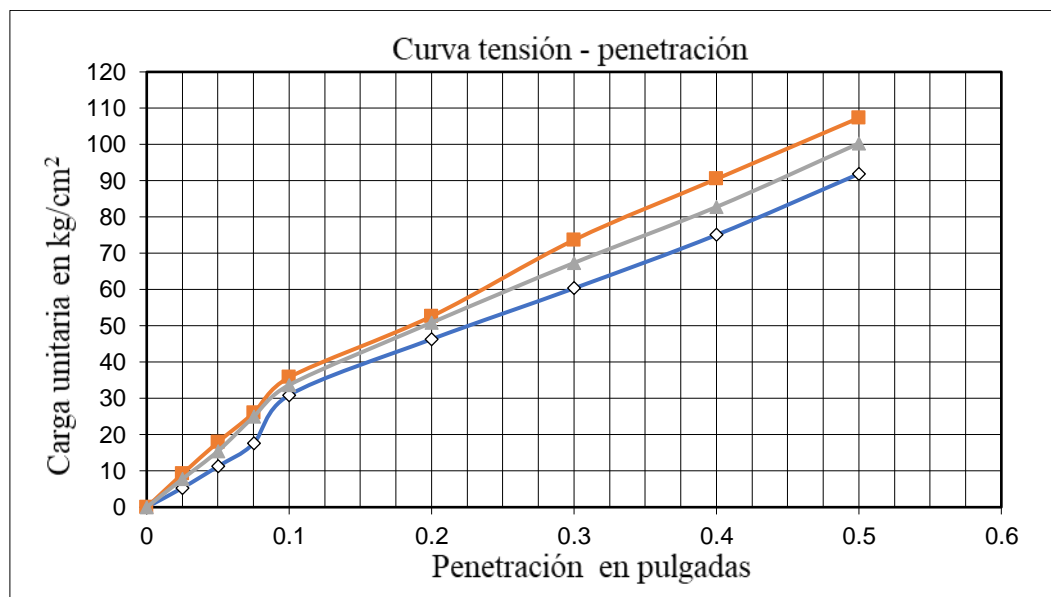
CBR	39.289	44.278	47.936
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
43.834	4.341	39.494	48.175

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	39.289	44.278	47.936
CBR (%) Promedio	46.107		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	41.411	46.669	50.525
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	48.597		

Fuente: Elaboración propia.

Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.5 Curva tensión – penetración capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.5 Resultados penetración capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.

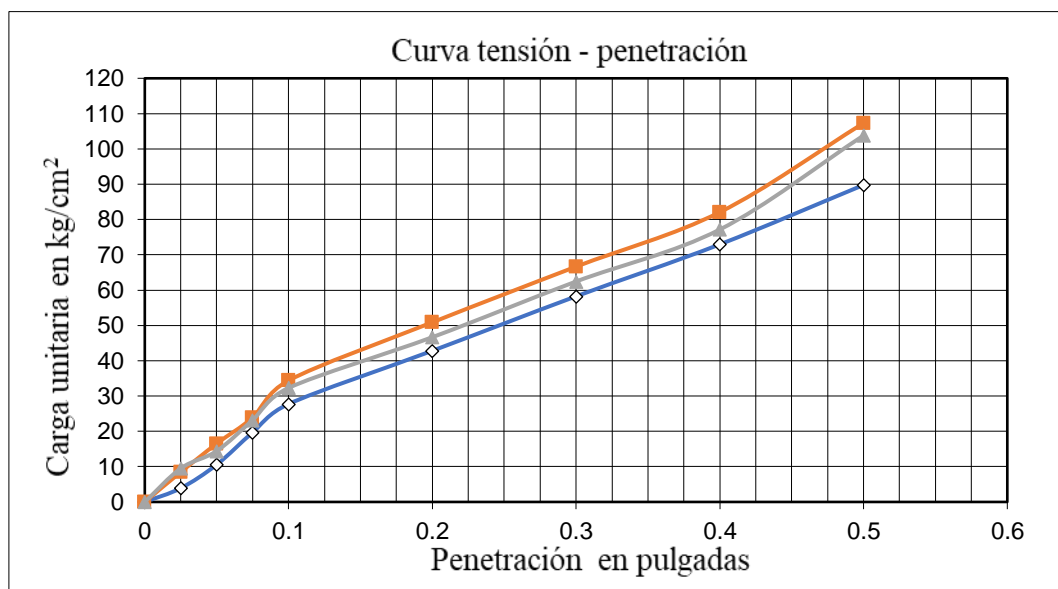
CBR	43.945	49.932	48.269
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
47.382	3.090	44.292	50.472

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	43.945	49.932	48.269
CBR (%) Promedio	49.100		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	46.318	52.628	50.875
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	51.752		

Fuente: Elaboración propia.

Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.6 Curva tensión – penetración capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.6 Resultados penetración capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.

CBR	40.62	48.269	44.278
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
44.389	3.826	40.563	48.215

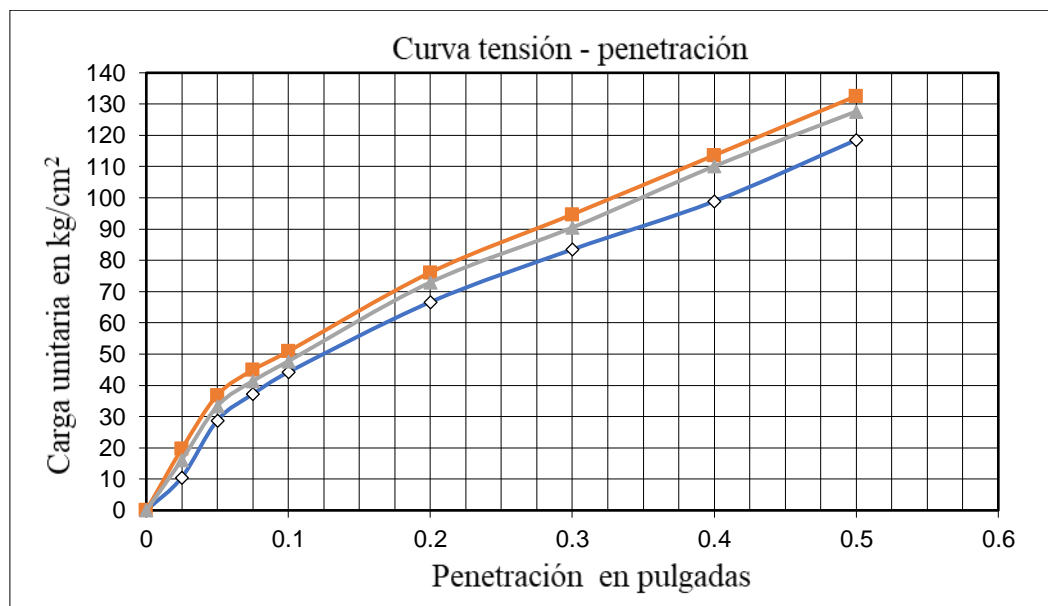
CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	40.620	48.269	44.278
CBR (%) Promedio	42.449		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	42.813	50.875	46.669
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	44.741		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 2 Santa Barbara y Tucumillas

Combinación geosintético en medio de la capa de rodadura A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.7 Curva tensión –penetración capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.7 Resultados penetración capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 2.

CBR	63.235	72.214	69.221
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
68.223	4.572	63.651	72.795

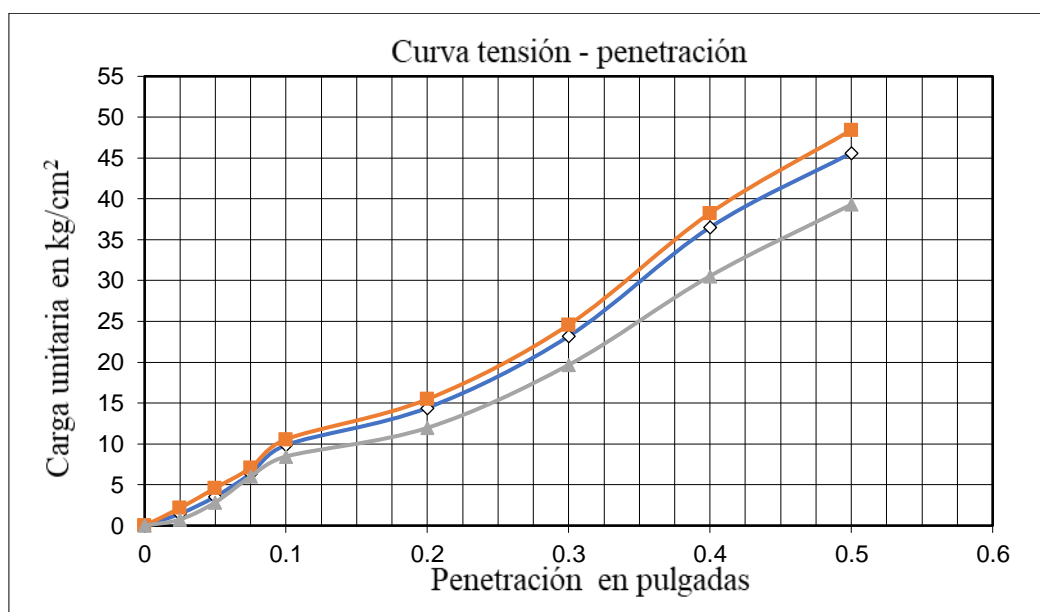
CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	63.235	72.214	69.221
CBR (%) Promedio	70.717		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	66.649	76.114	72.959
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	74.536		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 3 Tolomosa y San Andres

Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(5).

Figura 3.6.6.8 Curva tensión – penetración capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.8 Resultados penetración capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 3.

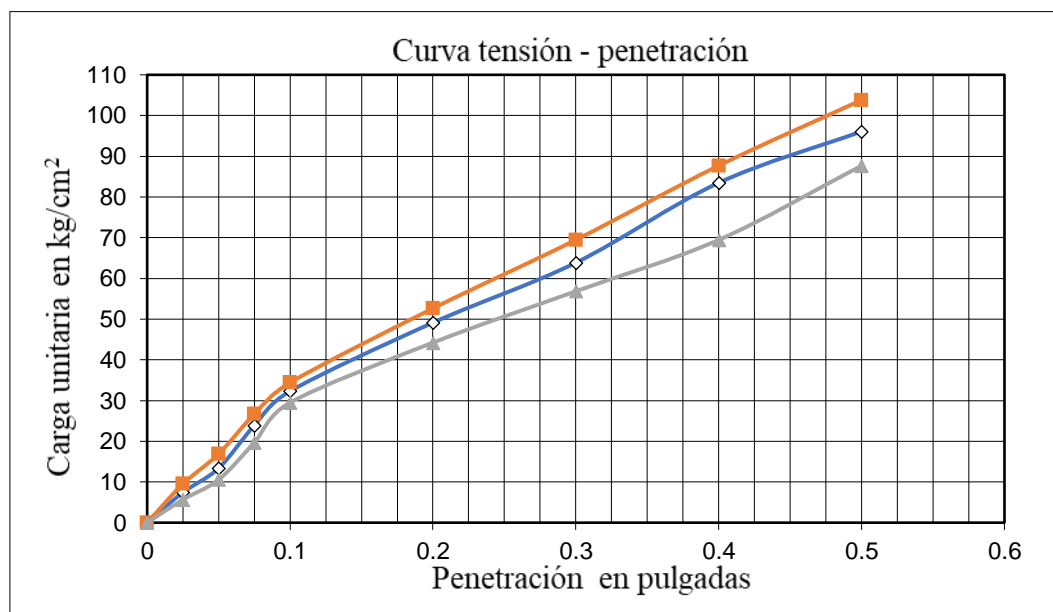
CBR	13.681	14.679	11.353
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	13.238	1.707	11.531 14.944

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	13.681	14.679	11.353
CBR (%) Promedio	14.180		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	14.420	15.471	11.966
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	14.946		

Fuente: Elaboración propia.

Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(5) y A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.9 Curva tensión – penetración capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.9 Resultados penetración capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 3.

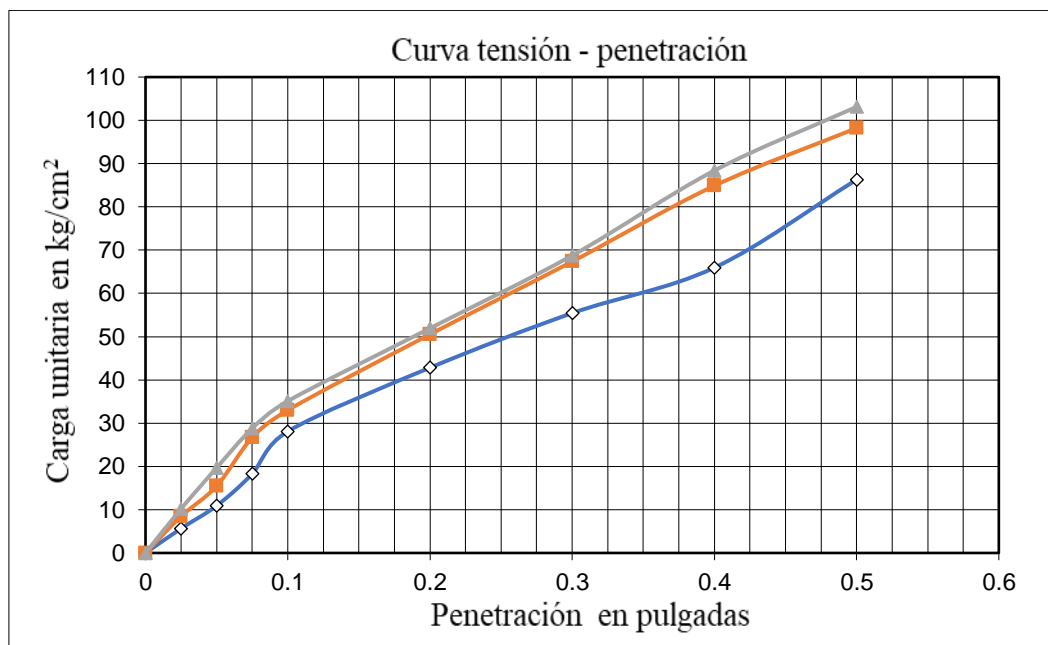
CBR	46.606	49.932	41.950
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
46.163	4.009	42.153	50.172

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	46.606	49.932	41.950
CBR (%) Promedio	48.269		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	49.123	52.628	44.215
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	50.875		

Fuente: Elaboración propia.

Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura (A-4(5) y A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.10 Curva tensión – penetración capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.10 Resultados penetración capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 3.

CBR	40.62	47.936	49.266
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
45.941	4.656	41.285	50.596

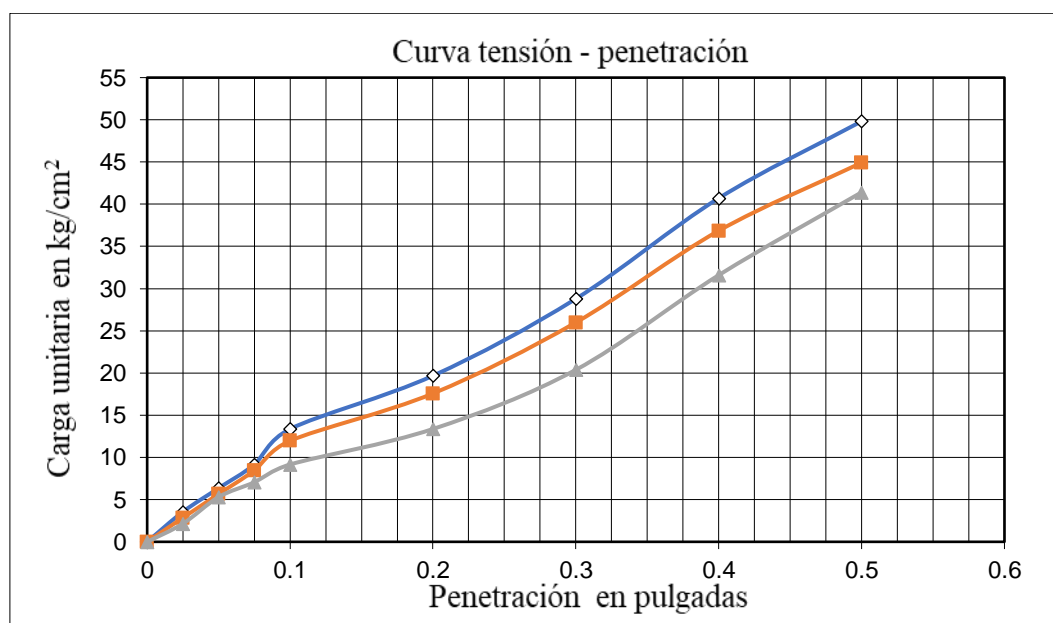
CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	40.620	47.936	49.266
CBR (%) Promedio	48.601		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	42.813	50.525	51.927
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	51.226		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 4 Impora y San Juan.

Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(1).

Figura 3.6.6.11 Curva tensión – penetración capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.11 Resultados penetración capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 4.

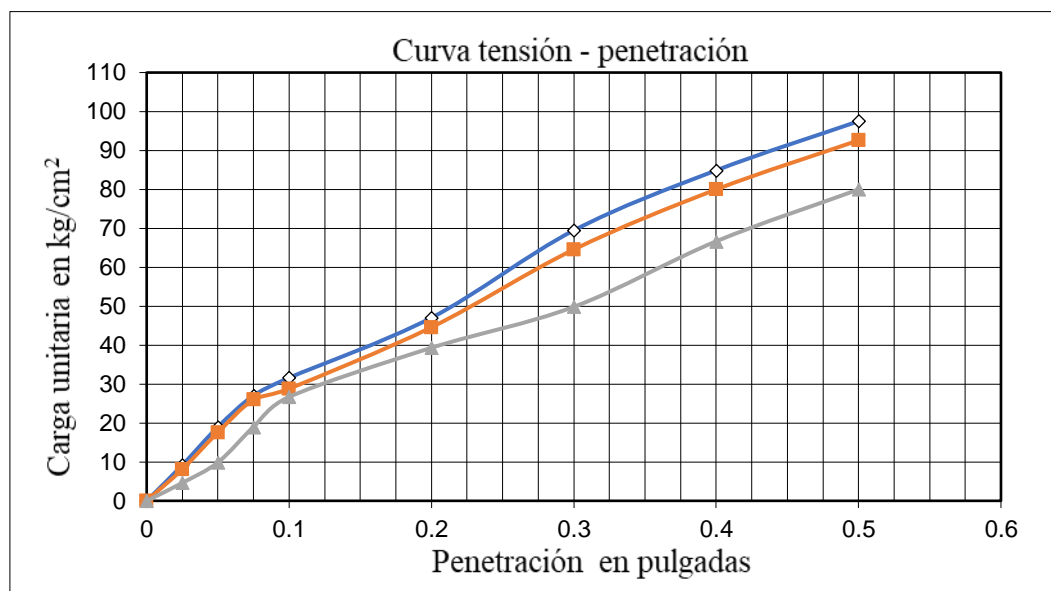
CBR	18.67	16.674	12.683
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	16.009	3.048	12.961 19.057

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	18.670	16.674	12.683
CBR (%) Promedio	17.672		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	19.678	17.575	13.368
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	18.626		

Fuente: Elaboración propia.

Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(1) y A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.12 Curva tensión – penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.12 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 4.

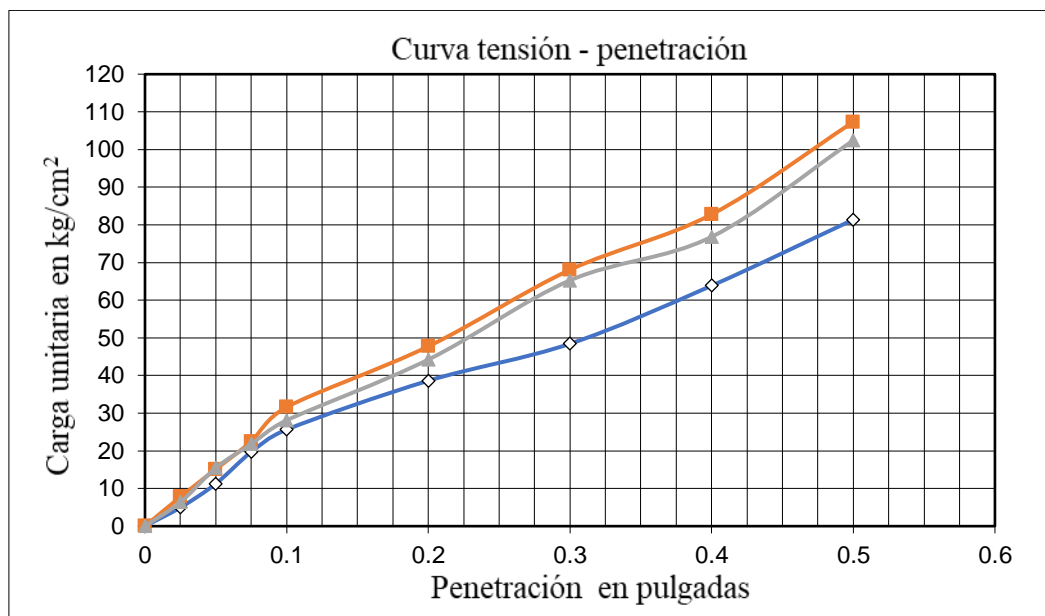
CBR	44.61	42.282	37.294
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
	41.395	37.658	45.133

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	44.610	42.282	37.294
CBR (%) Promedio	43.446		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	47.019	44.566	39.308
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	45.793		

Fuente: Elaboración propia.

Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura (A-4(1) y A-1-b(0)).

Figura 3.6.6.13 Curva tensión – penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6.6.13 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 4.

CBR	36.629	45.276	41.950
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
41.285	4.362	36.923	45.647

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	36.629	45.276	41.950
CBR (%) Promedio	43.613		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	38.607	47.721	44.215
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	45.968		

Fuente: Elaboración propia.

El trabajo de gabinete de los resultados con el geosintético tipo 1 completos se encuentran en el anexo C (Ensayo de penetración geosintético tipo 1).

Geosintético tipo 2. Resultado del tramo 1 Carachimayo y Sella.

Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(6).

Tabla 3.6.6.14 Resultados penetración capa subrasante con geosintético tipo 2 tramo 1.

CBR	11.686	14.679	8.360
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
11.575	3.161	8.414	14.736

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	11.686	14.679	8.360
CBR (%) Promedio	13.182		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	12.317	15.471	8.811
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	13.894		

Fuente: Elaboración propia.

Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-7-6(13).

Tabla 3.6.6.15 Resultados penetración capa subrasante con geosintético tipo 2 tramo 1.

CBR	6.697	5.699	4.369
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
5.588	1.168	4.420	6.756

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	6.697	5.699	4.369
CBR (%) Promedio	6.198		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	7.059	6.007	4.605
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	6.533		

Fuente: Elaboración propia.

Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.16 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 1.

CBR	49.266	48.269	44.610
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
47.382	2.452	44.930	49.833

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	49.266	48.269	44.610
CBR (%) Promedio	48.768		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	51.927	50.875	47.019
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	51.401		

Fuente: Elaboración propia.

Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.17 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 1.

CBR	38.624	45.276	46.606
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
43.502	4.276	39.226	47.778

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	38.624	45.276	46.606
CBR (%) Promedio	45.941		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	40.710	47.721	49.123
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	48.422		

Fuente: Elaboración propia.

Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.18 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 1.

CBR	43.945	49.266	47.936
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
47.049	2.769	44.280	49.818

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	43.945	49.266	47.936
CBR (%) Promedio	48.601		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	46.318	51.927	50.525
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	51.226		

Fuente: Elaboración propia.

Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.19 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 1.

CBR	41.285	47.271	44.943
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
44.500	3.018	41.482	47.517

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	41.285	47.271	44.943
CBR (%) Promedio	46.107		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	43.514	49.824	47.370
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	48.597		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 2 Santa Barbara y Tucumillas

Combinación geosintético en medio de la capa de rodadura A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.20 Resultados penetración capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 2.

CBR	63.235	69.221	71.216
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
67.891	4.153	63.737	72.044

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	63.235	69.221	71.216
CBR (%) Promedio	70.219		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	66.649	72.959	75.062
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	74.011		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 3 Tolomosa y San Andrés

Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante

Tabla 3.6.6.21 Resultados penetración capa subrasante con geosintético tipo 2 tramo 3.

CBR	13.348	14.014	10.688
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
12.683	1.760	10.924	14.443

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	13.348	14.014	10.688
CBR (%) Promedio	13.681		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	14.069	14.770	11.265
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	14.420		

Fuente: Elaboración propia.

Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(5) y A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.22 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 3.

CBR	47.271	48.934	41.285
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
45.830	4.023	41.807	49.853

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	47.271	48.934	41.285
CBR (%) Promedio	48.102		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	49.824	51.576	43.514
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	50.700		

Fuente: Elaboración propia.

Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura (A-4(5) y A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.23 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 3.

CBR	41.95	49.266	47.271
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
46.162	3.782	42.380	49.944

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	41.950	49.266	47.271
CBR (%) Promedio	48.269		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	44.215	51.927	49.824
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	50.875		

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del tramo 4 Impora y San Juan.

Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(1).

Tabla 3.6.6.24 Resultados penetración capa subrasante con geosintético tipo 2 tramo 4.

CBR	17.672	16.009	12.018
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
15.233	2.906	12.327	18.139

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	17.672	16.009	12.018
CBR (%) Promedio	16.841		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	18.626	16.874	12.667
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	17.750		

Fuente: Elaboración propia.

Segunda combinación geosintético entre la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(1) y A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.25 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 4.

CBR	42.615	43.945	37.959
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
41.506	3.143	38.363	44.650

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	42.615	43.945	37.959
CBR (%) Promedio	43.280		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	44.916	46.318	40.009
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	45.617		

Fuente: Elaboración propia.

Tercera combinación geosintético en medio de la capa de rodadura (A-4(1) y A-1-b(0)).

Tabla 3.6.6.26 Resultados penetración capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 4.

CBR	39.289	43.945	42.948
Media	Desviación	Rango	
		Menor	Mayor
42.061	2.452	39.609	44.512

CBR (%) A 0.2"			
CBR (%) Finales	39.289	43.945	42.948
CBR (%) Promedio	43.446		
Esfuerzo (kg/cm ²) A 0.2"			
Esfuerzo (kg/cm ²) Finales	41.411	46.318	45.267
Esfuerzo (kg/cm ²) Promedio	45.793		

Fuente: Elaboración propia.

Los cuadros marcados con rojo son los valores que se depuraron ya que los mismos no entran dentro de los rangos dados por la estadística, estos rangos se lo obtuvieron restando y sumando a la media de los valores la desviación estándar, este sería el rango para poder tomarlos en cuenta o depurarlos.

Para más información ver el anexo C (Ensayo de penetración geosintético (tipo 1 y 2))

3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.7.1 Análisis de resultados por cada combinación de cada tramo

Comparando los resultados de CBR y esfuerzo de suelo natural con suelo reforzado.

Comparación con el geosintético tipo 1 en el tramo 1 Carachimayo y Sella Méndez

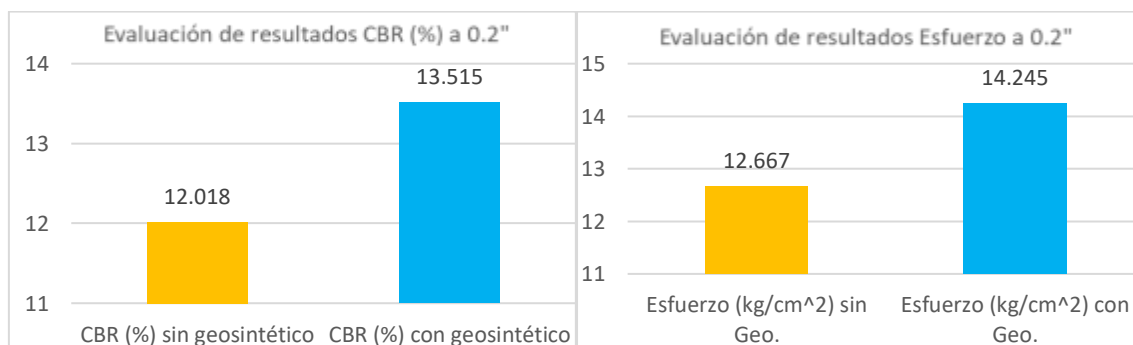
Análisis de la primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(6).

Tabla 3.7.1.1 Comparando los resultados capa subrasante A-4(6) con geosintético tipo 1 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	12.018	Esfuerzo (kg/cm²) sin	12.667
CBR (%) con geosintético	13.515	Esfuerzo (kg/cm²) con	14.245
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	12.453	Mejoramiento del esfuerzo (%)	12.453

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.1 Comparando los resultados capa subrasante A-4(6) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.1 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 12.453%.

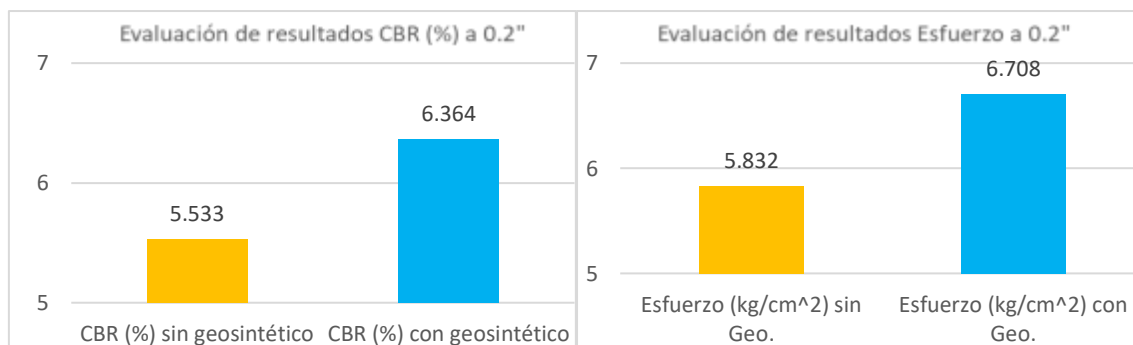
Análisis de la primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-7-6(13).

Tabla 3.7.1.2 Comparando los resultados capa subrasante A-7-6(13) con geosintético tipo 1 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	5.533	Esfuerzo (kg/cm²) sin	5.832
CBR (%) con geosintético	6.364	Esfuerzo (kg/cm²) con	6.708
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	15.027	Mejoramiento del esfuerzo (%)	15.027

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.2 Comparando los resultados capa subrasante A-7-6(13) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.2 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 15.027%.

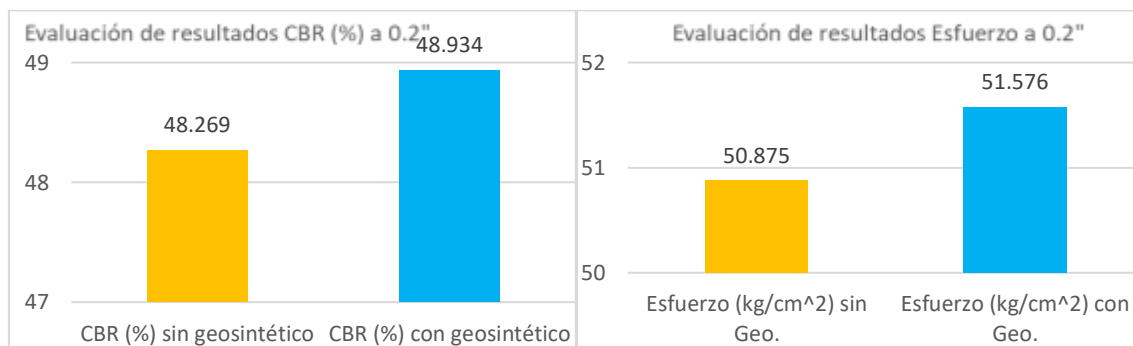
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.3 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	48.269	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	50.875
CBR (%) con geosintético	48.934	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	51.576
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.378	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.378

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.3 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.3 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media entre estas dos capas tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.378 %.

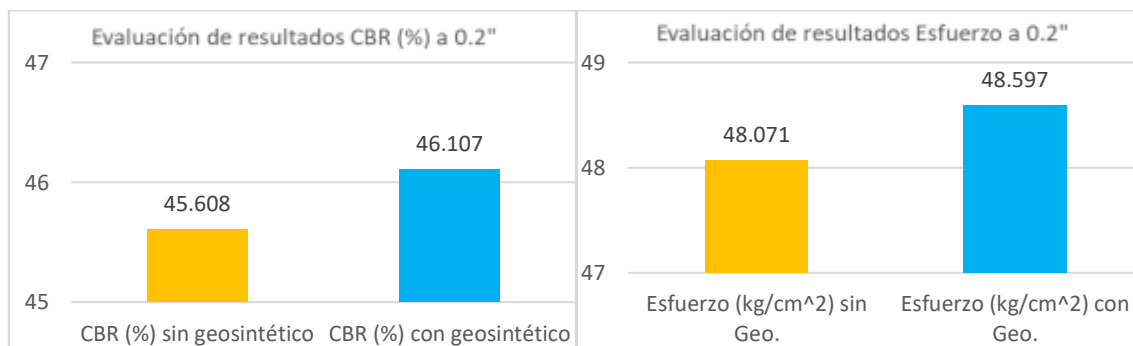
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.4 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	45.608	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	48.071
CBR (%) con geosintético	46.107	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	48.597
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.094	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.094

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.4 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.4 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media entre estas dos capas tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.094 %.

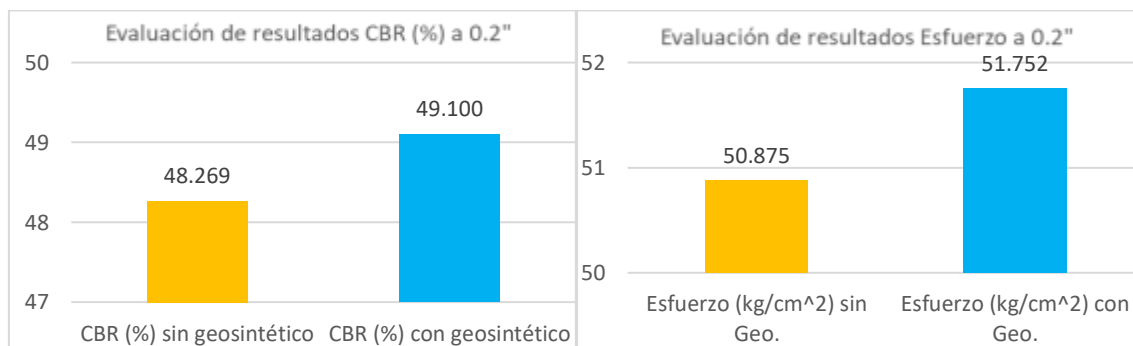
Análisis de la tercera combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.5 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	48.269	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	50.875
CBR (%) con geosintético	49.100	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	51.752
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.723	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.723

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.5 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.5 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.723 %.

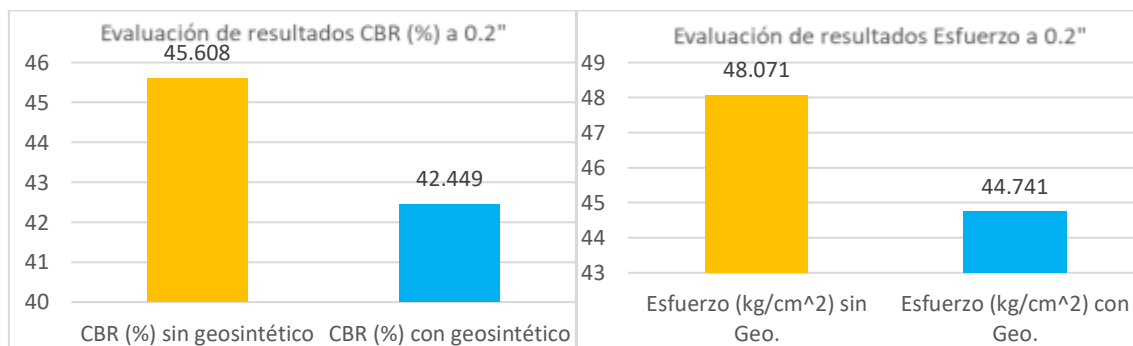
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.6 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	45.608	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	48.071
CBR (%) con geosintético	42.449	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	44.741
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	-6.927	Mejoramiento del esfuerzo (%)	-6.927

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.6 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 1 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.6 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados se tiene que en este caso no se incrementa ni el CBR como tampoco el esfuerzo.

Comparación con el geo sintético tipo 1 en el tramo 2 Santa Barbara y Tucumillas.

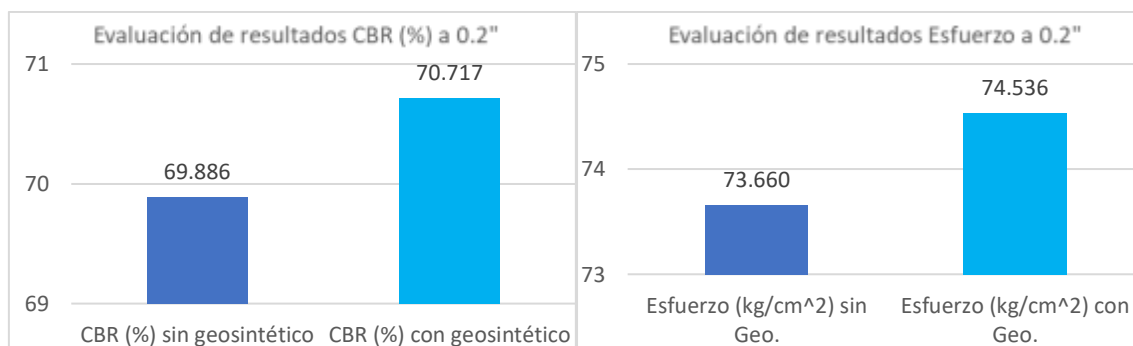
Análisis de la combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura.

Tabla 3.7.1.7 Comparando los resultados capa rodadura con geosintético tipo 1 tramo 2.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	69.886	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	73.660
CBR (%) con geosintético	70.717	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	74.536
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.190	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.190

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.7 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.7 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.190 %.

Comparación con el geo sintético tipo 1 en el tramo 3 Tolomosa y San Andrés.

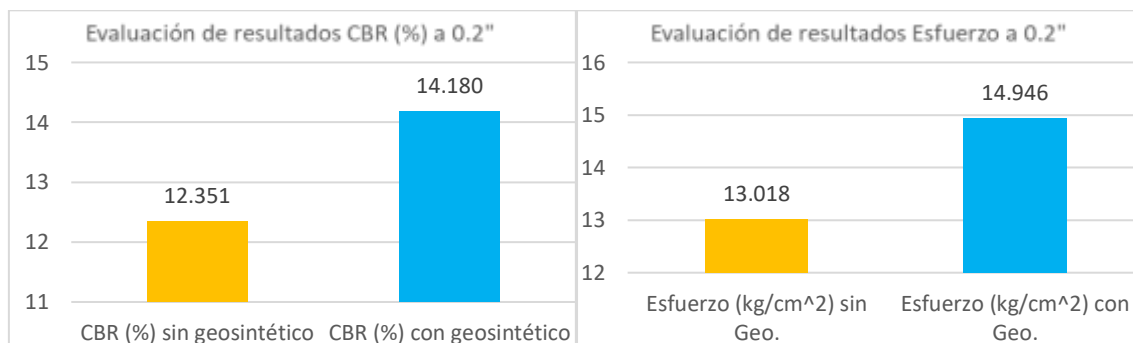
Análisis de la primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(5).

Tabla 3.7.1.8 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 3.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	12.351	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	13.018
CBR (%) con geosintético	14.180	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	14.946
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	14.810	Mejoramiento del esfuerzo (%)	14.810

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.8 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.8 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 14.810 %.

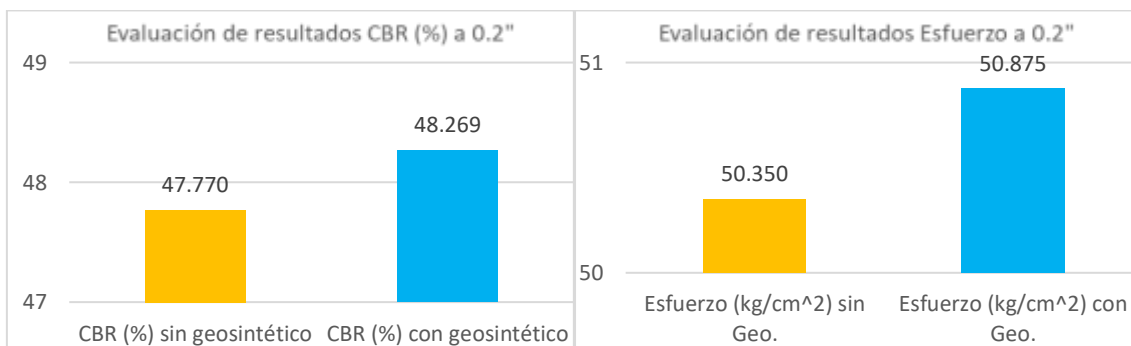
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(5) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.9 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 3.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	47.770	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	50.350
CBR (%) con geosintético	48.269	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	50.875
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.044	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.044

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.9 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.9 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media entre estas dos capas tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.044 %.

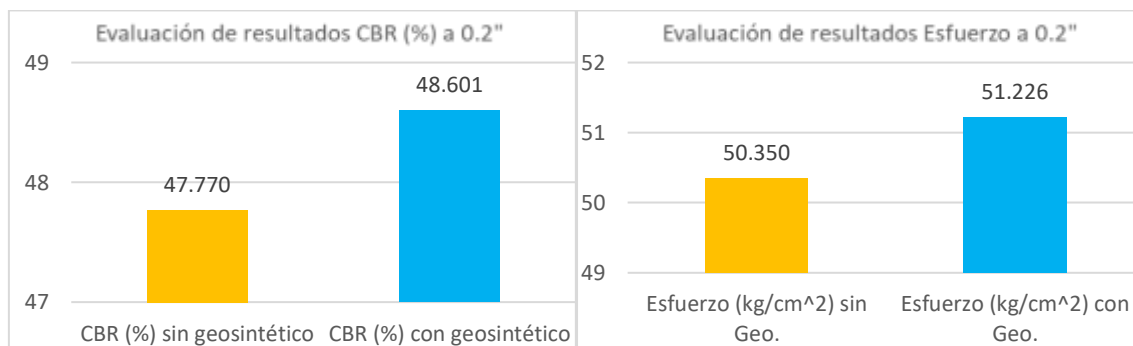
Análisis de la tercera combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura (A-4(5) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.10 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 3.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	47.770	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	50.350
CBR (%) con geosintético	48.601	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	51.226
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.740	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.740

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.10 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.10 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.740 %.

Comparación con el geo sintético tipo 1 en el tramo 4 Impora y San Juan.

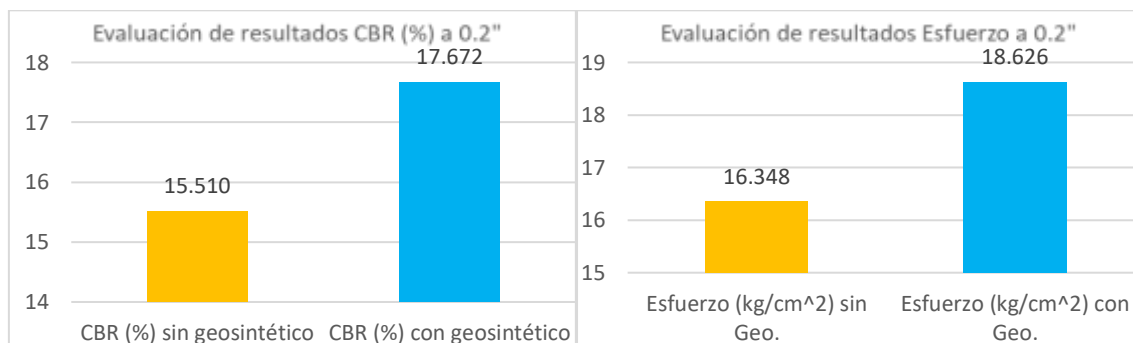
Análisis de la Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(1).

Tabla 3.7.1.11 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 4.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	15.510	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	16.348
CBR (%) con geosintético	17.672	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	18.626
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	13.937	Mejoramiento del esfuerzo (%)	13.937

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.11 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.11 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 13.937 %.

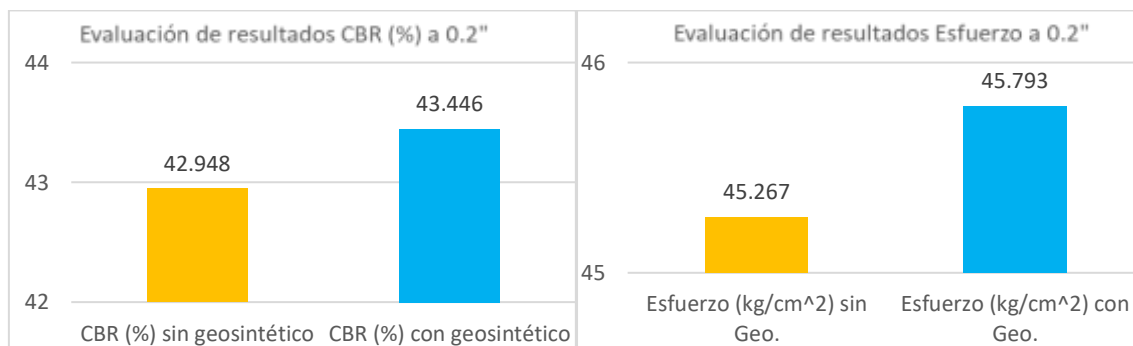
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(1) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.12 Comparando los resultados capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 4.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	42.948	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	45.267
CBR (%) con geosintético	43.446	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	45.793
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.162	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.162

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.12 Comparando los resultados capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.12 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media entre estas dos capas tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 2.484 %.

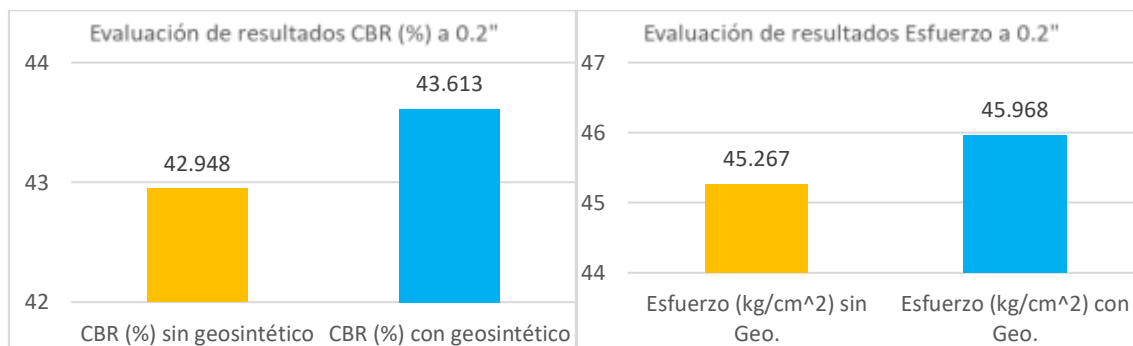
Análisis de la tercera combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura (A-4(1) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.13 Comparando los resultados capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 4.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	42.948	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	45.267
CBR (%) con geosintético	43.613	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	45.968
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.549	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.549

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.13 Comparando los resultados capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 1 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.13 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 2.876 %.

Para más información ver anexo C.

Geosintético tipo 2

Comparación con el geosintético tipo 2 en el tramo 1 Carachimayo y Sella Méndez

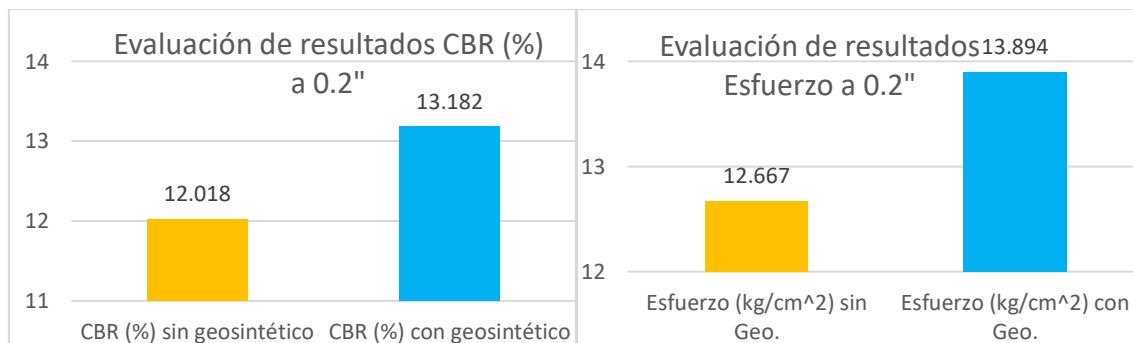
Análisis de la Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(6).

Tabla 3.7.1.14 Comparando los resultados capa subrasante A-4(6) con geosintético tipo 2 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	12.018	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	12.667
CBR (%) con geosintético	13.182	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	13.894
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	9.685	Mejoramiento del esfuerzo (%)	9.685

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.14 Comparando los resultados capa subrasante A-4(6) con geosintético tipo 2 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.14 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 9.685 %.

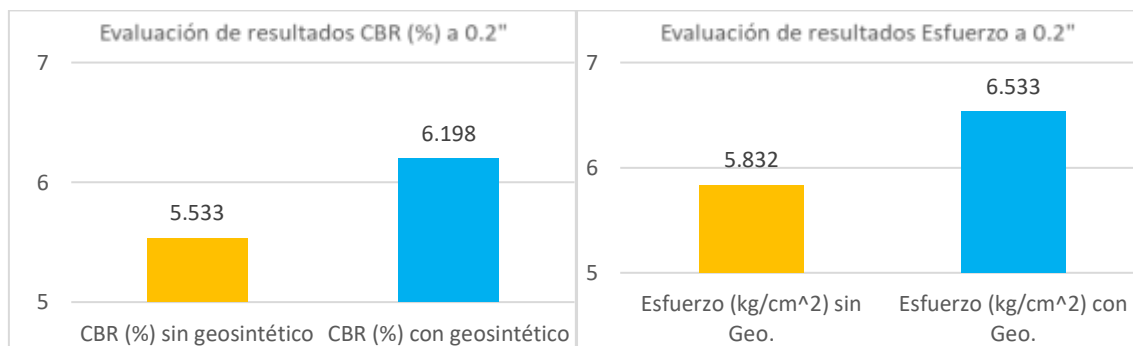
Análisis de la Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-7-6(13).

Tabla 3.7.1.15 Comparando los resultados capa subrasante A-7-6(13) con geosintético tipo 2 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	5.533	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	5.832
CBR (%) con geosintético	6.198	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	6.533
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	12.021	Mejoramiento del esfuerzo (%)	12.021

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.15 Comparando los resultados capa subrasante A-7-6(13) con geosintético tipo 2 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.15 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 12.021%.

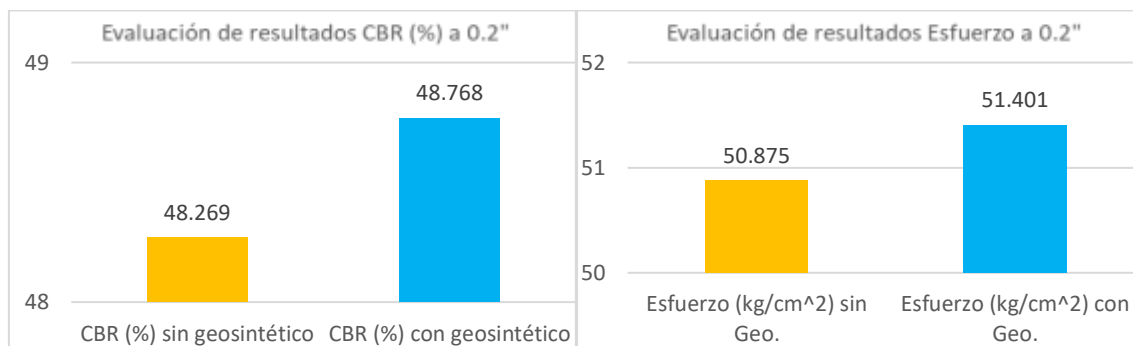
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.16 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 2 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	48.269	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	50.875
CBR (%) con geosintético	48.768	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	51.401
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.034	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.034

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.16 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 2 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.16 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media entre estas dos capas tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.034 %.

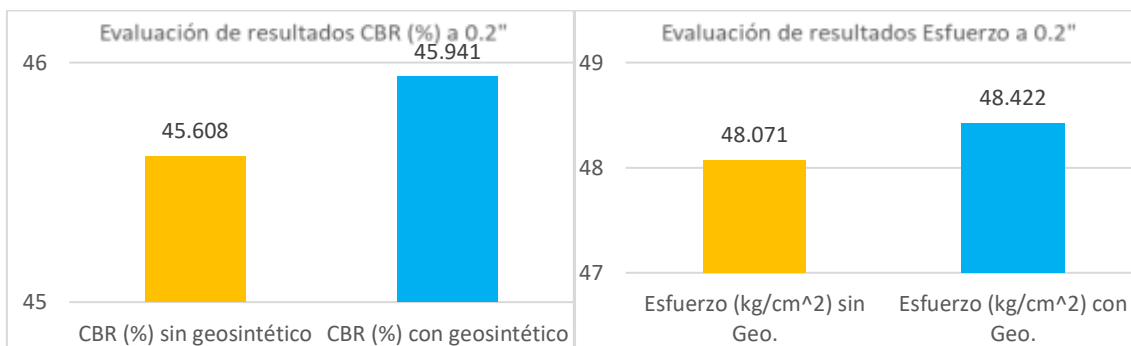
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.17 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 2 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	45.608	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	48.071
CBR (%) con geosintético	45.941	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	48.422
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	0.729	Mejoramiento del esfuerzo (%)	0.729

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.17 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 2 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.17 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media entre estas dos capas tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 0.729 %.

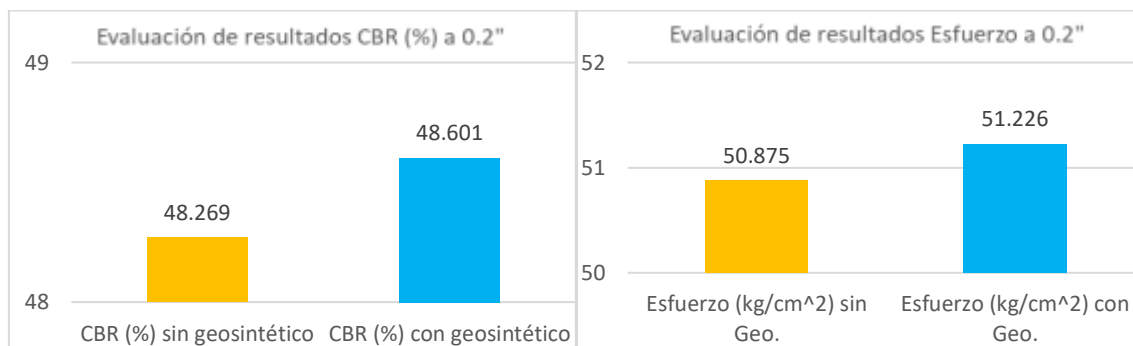
Análisis de la tercera combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.18 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 2 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	48.269	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	50.875
CBR (%) con geosintético	48.601	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	51.226
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	0.689	Mejoramiento del esfuerzo (%)	0.689

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.18 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(6) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 2 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.18 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 0.689 %.

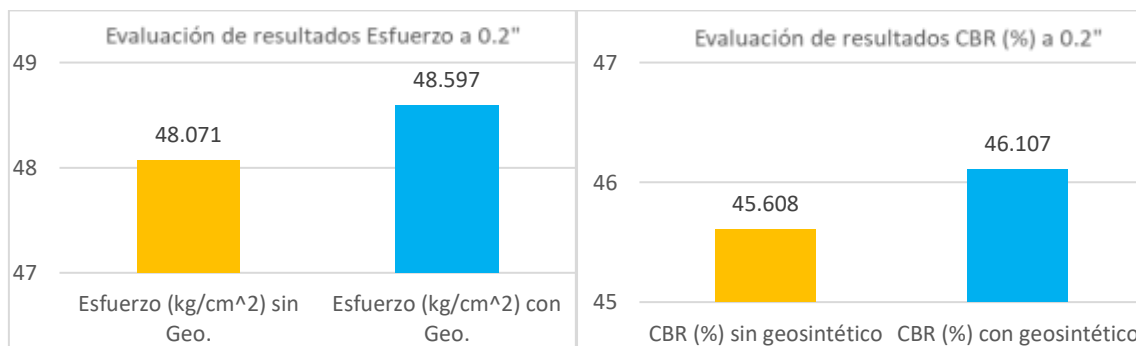
Análisis de la tercera combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.19 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 2 tramo 1.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	45.608	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	48.071
CBR (%) con geosintético	46.107	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	48.597
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.094	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.094

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.19 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura (A-7-6(13) y A-1-b(0)) con geosintético tipo 2 tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.19 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.094 %.

Comparación con el geo sintético tipo 2 en el tramo 2 Santa Barbara y Tucumillas.

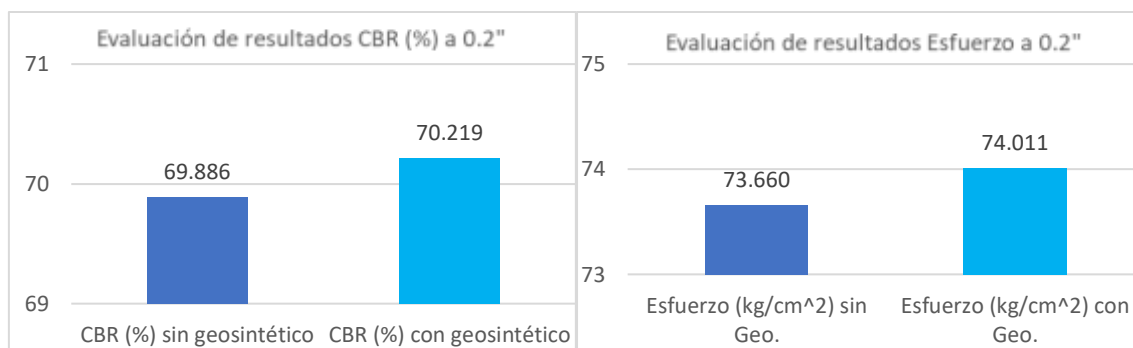
Análisis de la combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura.

Tabla 3.7.1.20 Comparando los resultados capa rodadura con geosintético tipo 2 tramo 2.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	69.886	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	73.660
CBR (%) con geosintético	70.219	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	74.011
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	0.476	Mejoramiento del esfuerzo (%)	0.476

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.20 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 1 tramo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.20 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 0.476 %.

Comparación con el geo sintético tipo 2 en el tramo 3 Tolomosa y San Andrés.

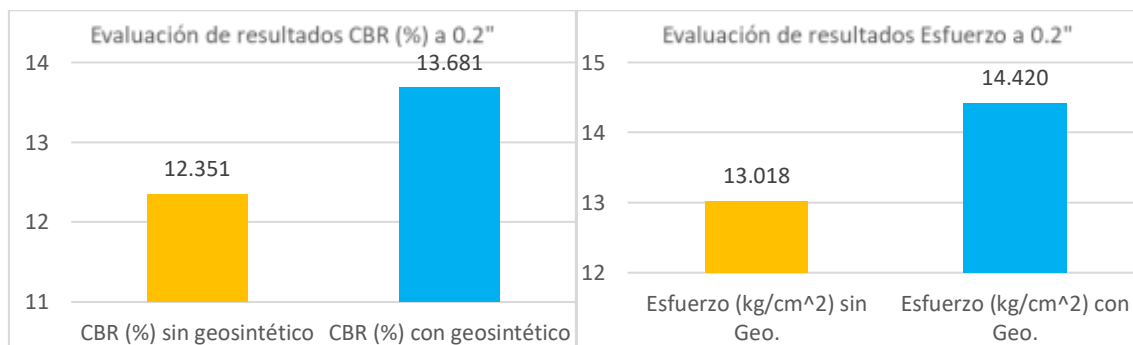
Análisis de la Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(5).

Tabla 3.7.1.21 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 2 tramo 3.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	12.351	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	13.018
CBR (%) con geosintético	13.681	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	14.420
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	10.771	Mejoramiento del esfuerzo (%)	10.771

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.21 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 2 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.21 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 10.771 %.

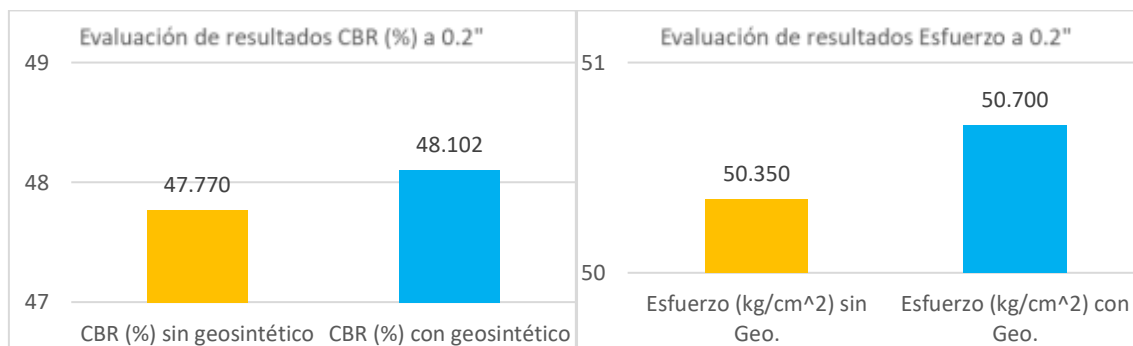
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(5) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.22 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 3.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	47.770	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	50.350
CBR (%) con geosintético	48.102	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	50.700
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	0.696	Mejoramiento del esfuerzo (%)	0.696

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.22 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.22 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media entre estas dos capas tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 0.696 %.

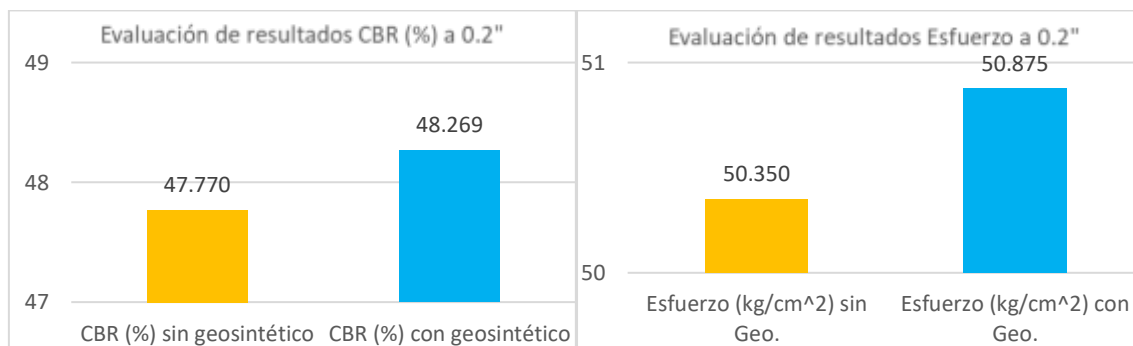
Análisis de la tercera combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura (A-4(5) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.23 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 3.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	47.770	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	50.350
CBR (%) con geosintético	48.269	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	50.875
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.044	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.044

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.23 Comparando los resultados capa subrasante y la capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.23 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.044 %.

Comparación con el geo sintético tipo 2 en el tramo 4 Impora y San Juan.

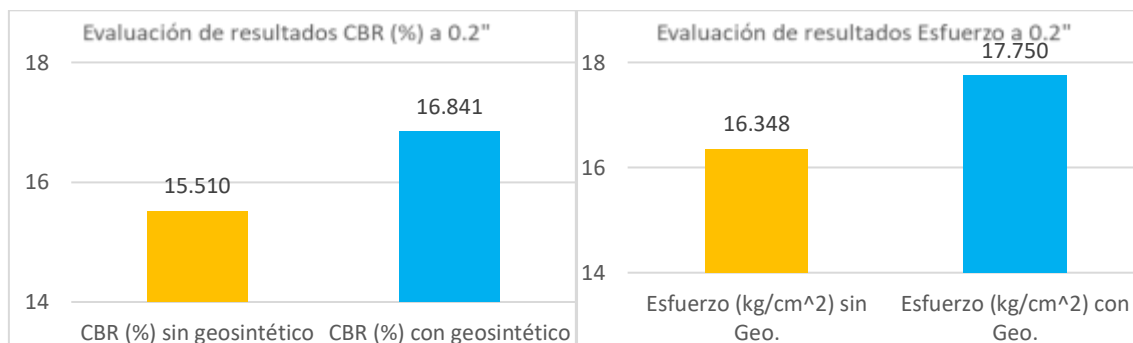
Análisis de la Primera combinación geosintético en el medio de la capa subrasante A-4(1).

Tabla 3.7.1.24 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 2 tramo 4.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	15.510	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	16.348
CBR (%) con geosintético	16.841	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	17.750
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	8.577	Mejoramiento del esfuerzo (%)	8.577

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.24 Comparando los resultados capa subrasante con geosintético tipo 2 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.24 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 8.577 %.

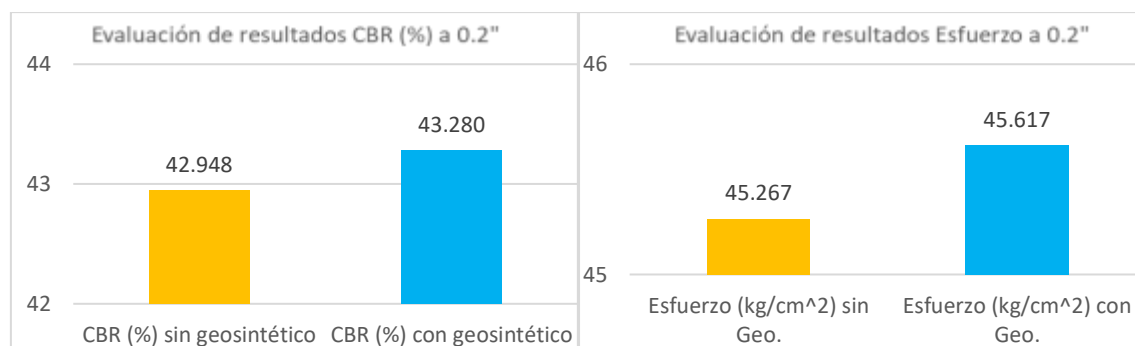
Análisis de la segunda combinación geosintético en el medio de la capa subrasante y la capa de rodadura (A-4(1) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.25 Comparando los resultados capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 4.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	42.948	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	45.267
CBR (%) con geosintético	43.280	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	45.617
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	0.774	Mejoramiento del esfuerzo (%)	0.744

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.25 Comparando los resultados capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.25 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media entre estas dos capas tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 0.774 %.

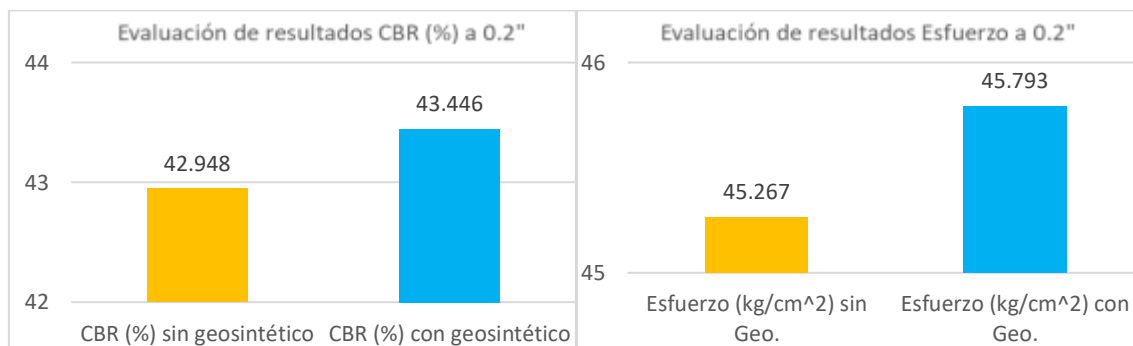
Análisis de la tercera combinación geosintético en el medio de la capa de rodadura (A-4(1) y A-1-b(0)).

Tabla 3.7.1.26 Comparando los resultados capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 4.

Evaluación de resultados		Evaluación de resultados	
	CBR (%) A 0.2"		Esfuerzo A 0.2"
CBR (%) sin geosintético	42.948	Esfuerzo (kg/cm²) sin Geo.	45.267
CBR (%) con geosintético	43.446	Esfuerzo (kg/cm²) con Geo.	45.793
Porcentaje de mejoramiento del CBR (%)	1.162	Mejoramiento del esfuerzo (%)	1.162

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.1.26 Comparando los resultados capa subrasante y capa de rodadura con geosintético tipo 2 tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.1.26 se está comparando el CBR (%) y el Esfuerzo (kg/cm²), de una muestra de suelo natural (subrasante + capa de rodadura) con una muestra de suelo reforzado (subrasante + capa de rodadura y en la parte media de la capa de rodadura tenemos el geosintético) y comparando los resultados tenemos que tanto el CBR como el esfuerzo se incrementan en un porcentaje de 1.162 %.

3.7.2 Análisis de resultados por tramo en general

Analizando el porcentaje de incremento del CBR (el CBR con el esfuerzo tienen una correlación por eso los porcentajes de mejora serán los mismos).

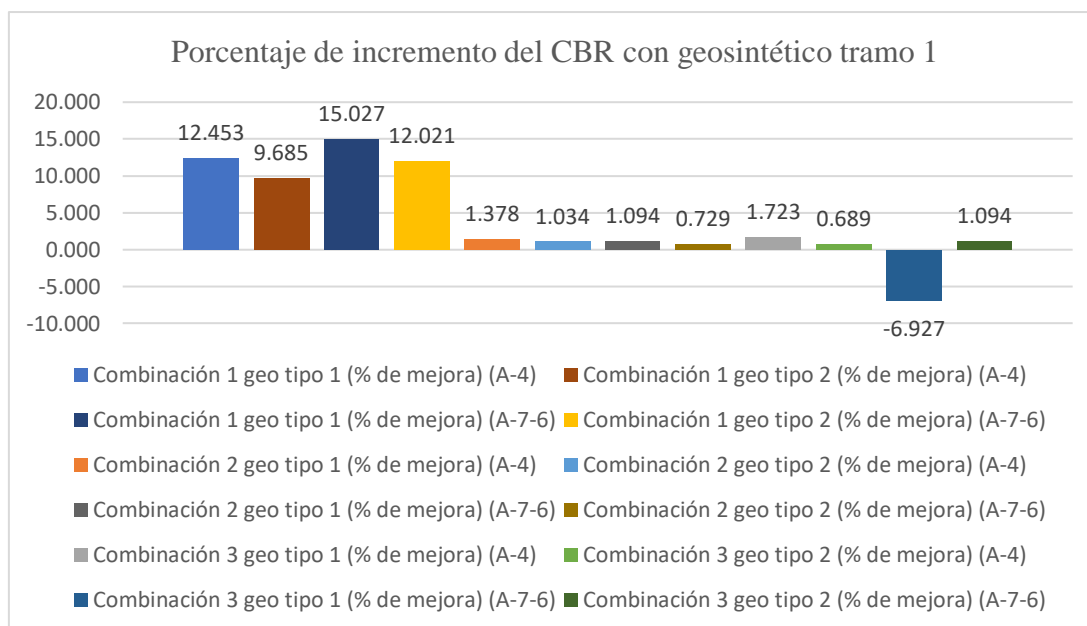
Análisis tramo 1 Carachimayo y Sella Méndez.

Tabla 3.7.2.1 Porcentaje de incremento del CBR con geosintético tramo 1.

Combinación 1 geo tipo 1 (% de mejora) (A-4)	12.453
Combinación 1 geo tipo 1 (% de mejora) (A-7-6)	15.027
Combinación 2 geo tipo 1 (% de mejora) (A-4)	1.378
Combinación 2 geo tipo 1 (% de mejora) (A-7-6)	1.094
Combinación 3 geo tipo 1 (% de mejora) (A-4)	1.723
Combinación 3 geo tipo 1 (% de mejora) (A-7-6)	-6.927
Combinación 1 geo tipo 2 (% de mejora) (A-4)	9.685
Combinación 1 geo tipo 2 (% de mejora) (A-7-6)	12.021
Combinación 2 geo tipo 2 (% de mejora) (A-4)	1.034
Combinación 2 geo tipo 2 (% de mejora) (A-7-6)	0.729
Combinación 3 geo tipo 2 (% de mejora) (A-4)	0.689
Combinación 3 geo tipo 2 (% de mejora) (A-7-6)	1.094

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2.1 Porcentaje de incremento del CBR con geosintético tramo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.2.1 Con la combinación 1 con un valor de 12.453 y la combinación 2 con un valor de 1.378 y la combinación 3 con un valor de 1.723 con estos resultados se tiene que la combinación 1 tiene un valor más alto de mejora que las otras 2 combinaciones con los dos tipos de geosintético, esta combinación es la del geosintético en el medio de la capa subrasante.

Con la combinación 3 (valor de 1.723) que es capa subrasante + capa de rodadura y el geosintético se encuentra en el medio de la capa de rodadura se tiene una mayor mejora que con la combinación 2 (valor de 1.378) que el geosintético se encuentra en el medio de la capa subrasante y capa de rodadura.

También se puede observar que con el geosintético tipo 1 se tiene mayor porcentaje de mejora que con el geosintético tipo 2.

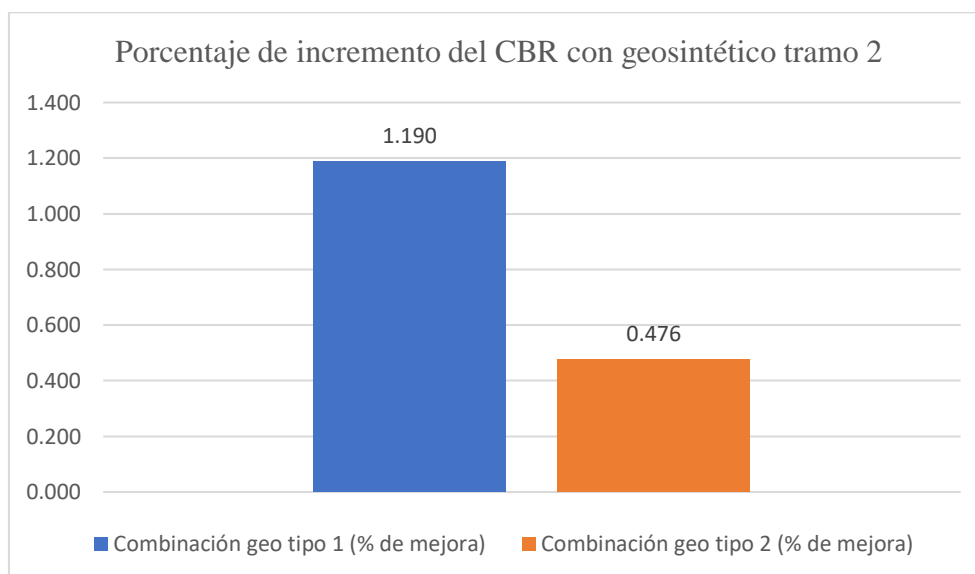
Análisis tramo 2 Santa Barbara y Tucumillas.

Tabla 3.7.2.2 Porcentaje de incremento del CBR con geosintético tramo 2.

Combinación geo tipo 1 (% de mejora)	1.190
Combinación geo tipo 2 (% de mejora)	0.476

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2.2 Porcentaje de incremento del CBR con geosintético tramo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.2.2 Este tramo solo tenía capa de rodadura material granular ya que su subrasante era roca, también tiene un porcentaje de mejora bajo y se debe al material granular que tiene y este mismo no tiende a deformarse como lo haría un suelo fino.

De igual forma que como sucedió en el tramo 1 se tiene un mayor porcentaje de mejora en el CBR con el geosintético tipo 1.

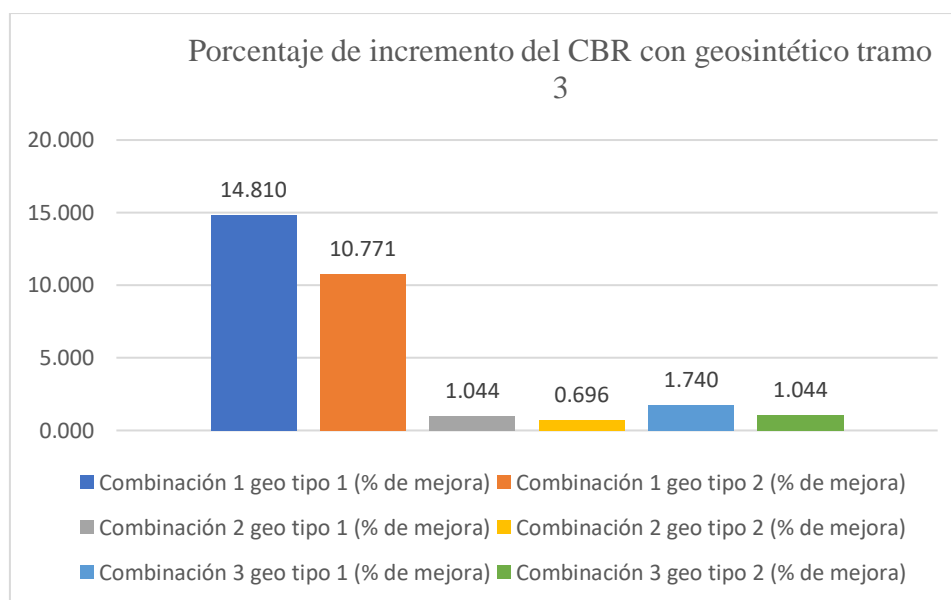
Análisis tramo 3 Tolomosa y San Andrés.

Tabla 3.7.2.3 Porcentaje de incremento del CBR con geosintético tramo 3.

Combinación 1 geo tipo 1 (% de mejora)	14.810
Combinación 2 geo tipo 1 (% de mejora)	1.044
Combinación 3 geo tipo 1 (% de mejora)	1.740
Combinación 1 geo tipo 2 (% de mejora)	10.771
Combinación 2 geo tipo 2 (% de mejora)	0.696
Combinación 3 geo tipo 2 (% de mejora)	1.044

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2.3 Porcentaje de incremento del CBR con geosintético tramo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.2.3 Con la combinación 1 con un valor de 14.81 y la combinación 2 con un valor de 1.044 y la combinación 3 con un valor de 1.74 con estos resultados se tiene que la combinación 1 tiene un valor más alto de mejora que las otras 2 combinaciones con los dos tipos de geosintético, esta combinación es la del geosintético en el medio de la capa subrasante.

Con la combinación 3 (valor de 1.740) que es capa subrasante + capa de rodadura y el geosintético se encuentra en el medio de la capa de rodadura se tiene una mayor mejora

que con la combinación 2 (valor de 1.044) que el geosintético se encuentra en el medio de la capa subrasante y capa de rodadura, esto tiene sentido porque para que un geosintético actúe como refuerzo se tiene que deformar el suelo para que el geosintético entre en acción y ayude con el refuerzo a la muestra.

También se puede observar que con el geosintético tipo 1 se tiene mayor porcentaje de mejora que con el geosintético tipo 2.

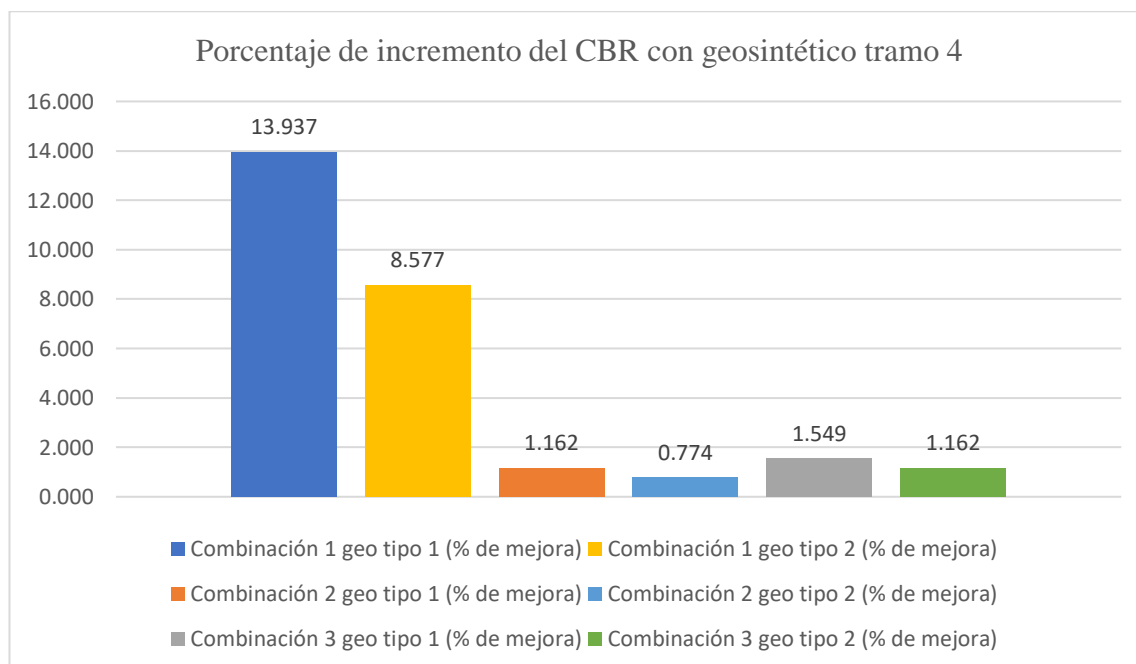
Análisis tramo 4 Impora y San Juan.

Tabla 3.7.2.4 Porcentaje de incremento del CBR con geosintético tramo 4.

Combinación 1 geo tipo 1 (% de mejora)	13.937
Combinación 2 geo tipo 1 (% de mejora)	1.162
Combinación 3 geo tipo 1 (% de mejora)	1.549
Combinación 1 geo tipo 2 (% de mejora)	8.577
Combinación 2 geo tipo 2 (% de mejora)	0.774
Combinación 3 geo tipo 2 (% de mejora)	1.162

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7.2.4 Porcentaje de incremento del CBR con geosintético tramo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3.7.2.4 Con la combinación 1 con un valor de 13.937 y la combinación 2 con un valor de 1.162 y la combinación 3 con un valor de 1.549 con estos resultados se tiene que la combinación 1 tiene un valor más alto de mejora que las otras 2 combinaciones con los dos tipos de geosintético, esta combinación es la del geosintético en el medio de la capa subrasante.

Con la combinación 3 (valor de 1.549) que es capa subrasante + capa de rodadura y el geosintético se encuentra en el medio de la capa de rodadura se tiene una mayor mejora que con la combinación 2 (valor de 1.162) que el geosintético se encuentra en el medio de la capa subrasante y capa de rodadura, esto tiene sentido porque para que un geosintético actúe como refuerzo se tiene que deformar el suelo para que el geosintético entre en acción y ayude con el refuerzo a la muestra.

También se puede observar que con el geosintético tipo 1 se tiene mayor porcentaje de mejora que con el geosintético tipo 2.

En resumen, a todos los ensayos realizados se puede observar en los resultados que cuando el material más fino sea nos dará un mayor porcentaje de mejora del suelo y cuando el material es granular los resultados nos indican que la mejora es muy baja esto nos indica que mientras más fino sea el material a reforzar mayor será el porcentaje de mejora de sus propiedades mecánicas y lo contrario con los materiales más granulares.

3.8 COSTOS DE ACUERDO AL TRAMO ESTUDIADO

3.8.1 Precio unitario capa de rodadura (ripiado) y de los geosintéticos

Tabla 3.8.1.1 Precio unitario capa de rodadura.

Análisis de precios unitarios					
Item:	Provisión y colocado de ripio			Unidad:	m3
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas				Moneda: Bolivianos	
1.-	Materiales	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	Ripio	m3	1.1	80	88
2					
3					
4					
Total Materiales:					88.000
2.-	Mano de obra	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	Operador de equipo liviano	hr	0.049	14	0.686
2	Operador de equipo pesado	hr	0.081	18	1.458
3	Ayudante	hr	0.081	12.5	1.013
4					0.000
					3.157
Cargas sociales (55 % de subtotal mano de obra)					1.736
Impuestos IVA (14.94 % de subtotal mano de obra+cargas sociales)					0.731
Total mano de obra:					5.624
3.-	Equipo, maquinaria y herramientas	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	Volqueta 12 m3	hr	0.05	254	12.7
2	Motoniveladora	hr	0.013	800	10.4
3	Camión aguatero	hr	0.013	220	2.86
4	Compactador rodillo	hr	0.005	350	1.75
5					
Herramientas (5 % de total mano de obra)					0.281
Total equipo, maquinaria y herramientas:					27.991
4.-	Gastos generales y administrativos				
Gastos generales (10 % de 1 + 2 + 3)					12.161
Total gastos generales y administrativos:					12.161
5.-	Utilidad				
Utilidad (5 % de 1 + 2 + 3 + 4)					6.689
Total utilidad:					6.689
6.-	Impuestos				
Impuestos IT (3.09 % de 1 + 2 + 3 + 4 + 5)					4.340
Total impuestos:					4.340
Total Precio unitario (1+2+3+4+5+6):					144.805

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8.1.2 Precio unitario geosintético tipo 1.

Análisis de precios unitarios					
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas					Moneda:
Actividad: Provisión y colocado de geotextil					Bolivianos
					Unidad: m2
1.-	Materiales	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	Geotextil	m2	1.100	13.461	14.807
2					
3					
4					
Total materiales:					14.807
2.-	Mano de obra	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	Especialista de construcción	hr	0.002	18.000	0.036
2	Ayudante de 1° de construcción	hr	0.005	12.500	0.063
3					
Subtotal mano de obra					0.099
Cargas sociales (57 % de subtotal mano de obra)					0.056
Impuestos IVA (14.94 % de subtotal mano de obra+cargas sociales)					0.023
Total mano de obra:					0.178
3.-	Equipo, maquinaria y herramientas	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1					
2					
Herramientas (5 % de Total mano de obra)					0.009
Total equipo, maquinaria y herramientas:					0.009
4.-	Gastos generales y administrativos				
Gastos generales (10 % de 1 + 2 + 3)					1.499
Total gastos generales y administrativos:					1.499
5.-	Utilidad				
Utilidad (5 % de 1 + 2 + 3 + 4)					0.825
Total utilidad:					0.825
6.-	Impuestos				
Impuestos IT (3.09 % de 1 + 2 + 3 + 4 + 5)					0.535
Total impuestos:					0.535
Total precio unitario (1+2+3+4+5+6):					17.853

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8.1.3 Precio unitario geosintético tipo 2.





Análisis de precios unitarios					
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas					Moneda:
Actividad: Provisión y colocado de geotextil					Bolivianos
					Unidad: m2
1.-	Materiales	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	Geotextil	m2	1.100	24.220	26.642
2					
3					
4					
Total materiales:					26.642
2.-	Mano de obra	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1	Especialista de construcción	hr	0.002	18.000	0.036
2	Ayudante de 1° de construcción	hr	0.005	12.500	0.063
3					
Subtotal mano de obra					0.099
Cargas sociales (57 % de subtotal mano de obra)					0.056
Impuestos IVA (14.94 % de subtotal mano de obra+cargas sociales)					0.023
Total mano de obra:					0.178
3.-	Equipo, maquinaria y herramientas	Unid.	Cantidad	Precio productivo	Costo total
1					
2					
Herramientas (5 % de Total mano de obra)					0.009
Total equipo, maquinaria y herramientas:					0.009
4.-	Gastos generales y administrativos				
Gastos generales (10 % de 1 + 2 + 3)					2.683
Total gastos generales y administrativos:					2.683
5.-	Utilidad				
Utilidad (5 % de 1 + 2 + 3 + 4)					1.476
Total utilidad:					1.476
6.-	Impuestos				
Impuestos IT (3.09 % de 1 + 2 + 3 + 4 + 5)					0.958
Total impuestos:					0.958
Total precio unitario (1+2+3+4+5+6):					31.945

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2 Datos necesarios para diseñar mediante el método de CBR

Los datos necesarios para diseñar por el método CBR son el CBR de la subrasante, la carga por rueda que tenga el tipo de vehículo.

Figura 3.8.1.1.1 Pesos máximos permitidos por ejes.

EJES	TIPOS DE CONFIGURACIONES DE EJES Y GRUPOS DE EJES VEHICULARES	PESO MÁXIMO PERMITIDO (TONELADAS)	TOLERANCIA DEL SISTEMA DE PESAJE EN LA MEDICIÓN DE EJES Y GRUPO DE EJES (TONELADAS) EXCENTA DE MULTA*
	Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantas	7,00	0,35
	Eje sencillo de 2 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	7,70	0,39
	Eje tipo tandem de 4 llantas	10,00	0,50
	Eje sencillo de cuatro llantas	11,00	0,55

Fuente: Ley 441 ley de control de pesos y dimensiones vehiculares en la red vial fundamental.

Figura 3.8.1.1.2 Tipo camión eje sencillo de cuatro llantas.



Fuente: <https://bolivia.patiotuerca.com>

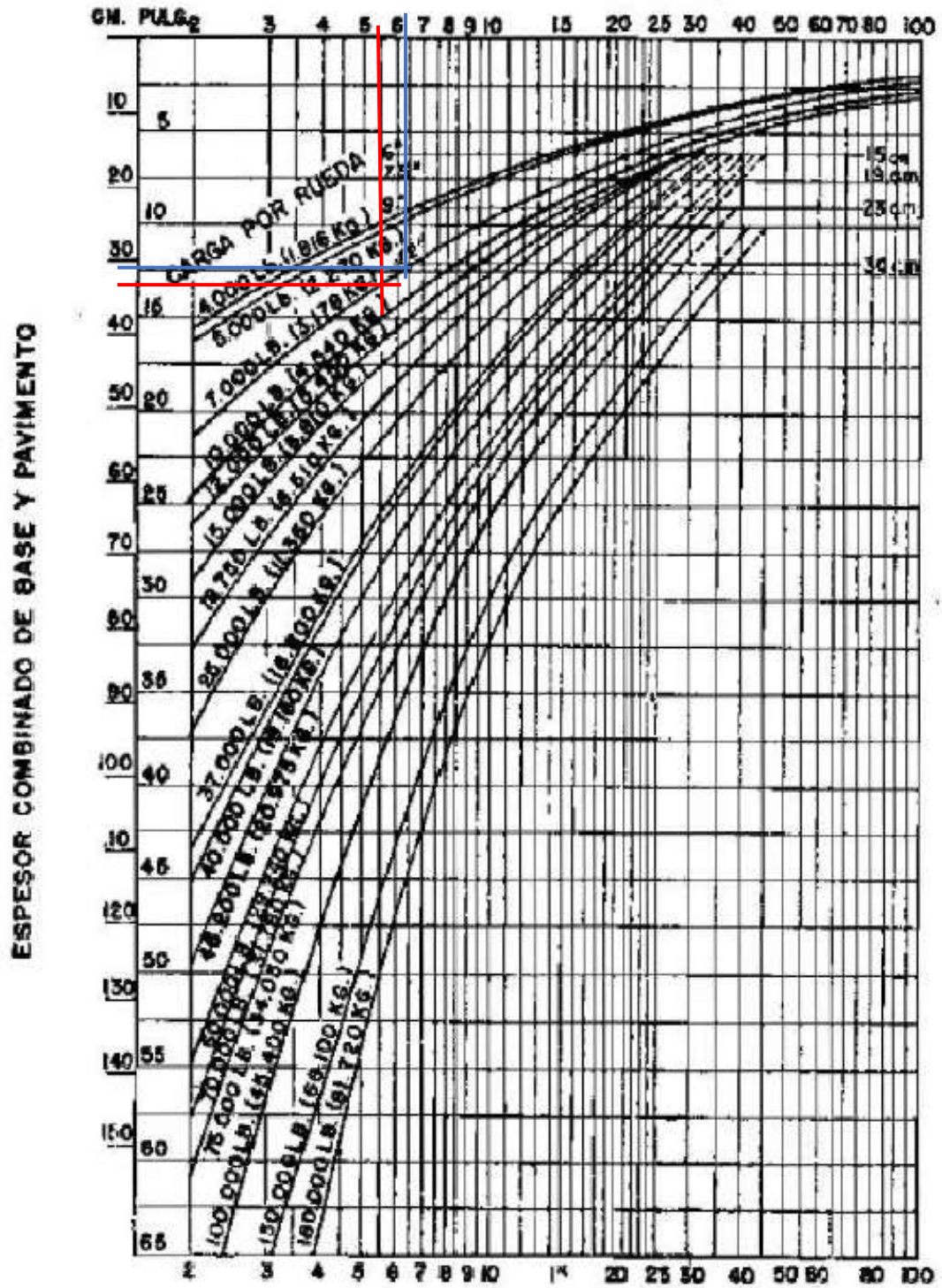
3.8.2..1 Tramo 1 Carachimayo y Sella Méndez

CBR subrasante del suelo natural (%) = 5.5

CBR subrasante del suelo reforzado con geosintético (%) = 6.3

La carga por rueda que se asume es 3.176 kg (7000 Lb), para todos los tramos.

Figura 3.8.2.1.1 Curvas para el cálculo de espesores para diferentes CBR y carga por rueda (Tramo 1 subrasante A-7-6(13)).



Fuente: Diseño de Pavimento Flexible por el Procedimiento del Instituto Norteamericano de Asfalto.

Teniendo los datos necesarios se procede a obtener el espesor de la capa de rodadura primero del suelo natural (lo que se indica en la figura con las líneas de color rojo).

$$\text{Espesor "e" (m)} = 0.34$$

Luego se obtuvo el espesor de la capa de rodadura con el suelo reforzado con el material geosintético (lo que se indica en la figura con las líneas de color azul).

$$\text{Espesor "e" (m)} = 0.31$$

Se realizo los precios para 1 m de longitud.

Tabla 3.8.2.1.1 Presupuesto general sin refuerzo de geosintético tramo 1.

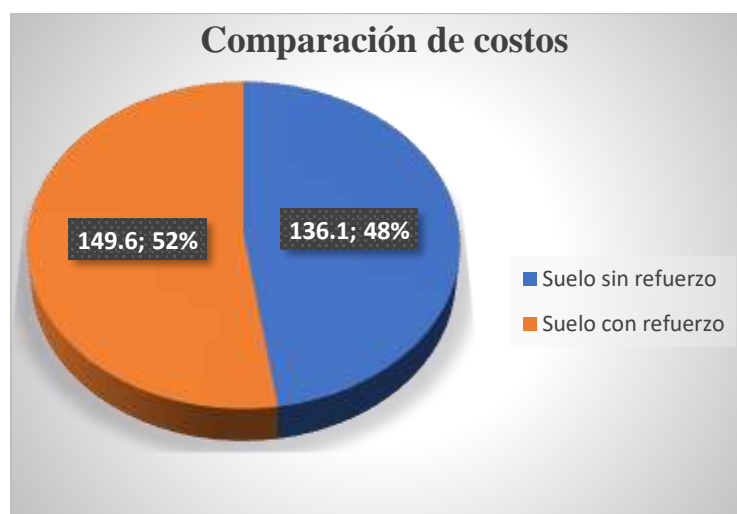
Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: Carachimayo y Sella Méndez						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.340	144.805	49.234	Cuarenta y Nueve Bolivianos Con 23/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
Total presupuesto					136.118	Ciento Treinta y Seis Bolivianos Con 12/100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8.2.1.2 Presupuesto general con refuerzo de geosintético tipo 1 tramo 1.

Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: Carachimayo y Sella Méndez						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.310	144.805	44.890	Cuarenta y Cuatro Bolivianos Con 89/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
4	Provisión y colocado de geotextil	m2	1.000	17.853	17.853	Diecisiete Bolivianos Con 85/100
Total presupuesto					149.627	Ciento Cuarenta y Nueve Bolivianos Con 63/100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8.2.1.2 Comparación de costos tramo 1 geosintético tipo 1.

Fuente: Elaboración propia.

Para el suelo sin refuerzo se tiene un presupuesto general de 136.118 Bolivianos y el suelo reforzado con geosintético tiene un presupuesto general de 149.627 Bolivianos.

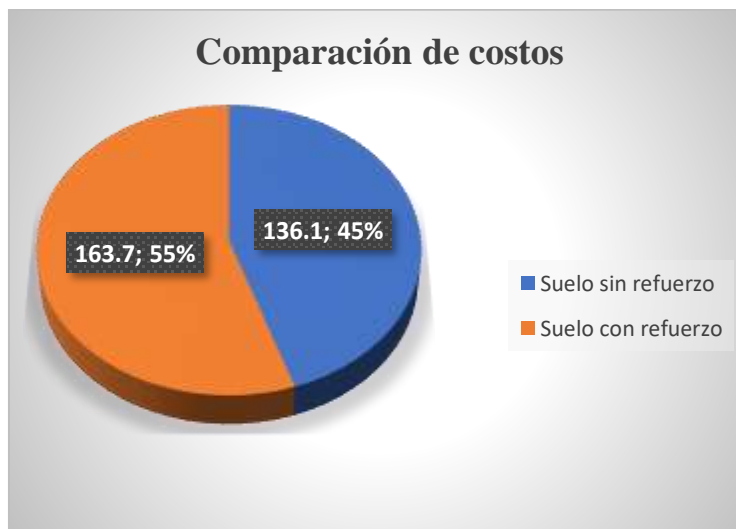
Comparando los precios se puede observar que sin el uso del refuerzo del geosintético se tiene un costo menor, pero si se utilizaría el geosintético se tiene una mayor duración de vida útil de la vía terciaria no pavimentada.

Tabla 3.8.2.1.3 Presupuesto general con refuerzo de geosintético tipo 2 tramo 1.

Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: Carachimayo y Sella Méndez						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.310	144.805	44.890	Cuarenta y Cuatro Bolivianos Con 89/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
4	Provisión y colocado de geotextil	m2	1.000	31.945	31.945	Treinta y Un Bolivianos Con 94/100
Total presupuesto					163.719	Ciento Sesenta y Tres Bolivianos Con 72/100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8.2.1.3 Comparación de costos tramo 1 geosintético tipo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Para el suelo sin refuerzo se tiene un presupuesto general de 136.118 Bolivianos y el suelo reforzado con geosintético tiene un presupuesto general de 163.719 Bolivianos.

Comparando los precios se puede observar que sin el uso del refuerzo del geosintético se tiene un costo menor, pero si se utilizaría el geosintético se tiene una mayor duración de vida útil de la vía terciaria no pavimentada.

3.8.2..2 Tramo 2 Santa Barbara y Tucumillas

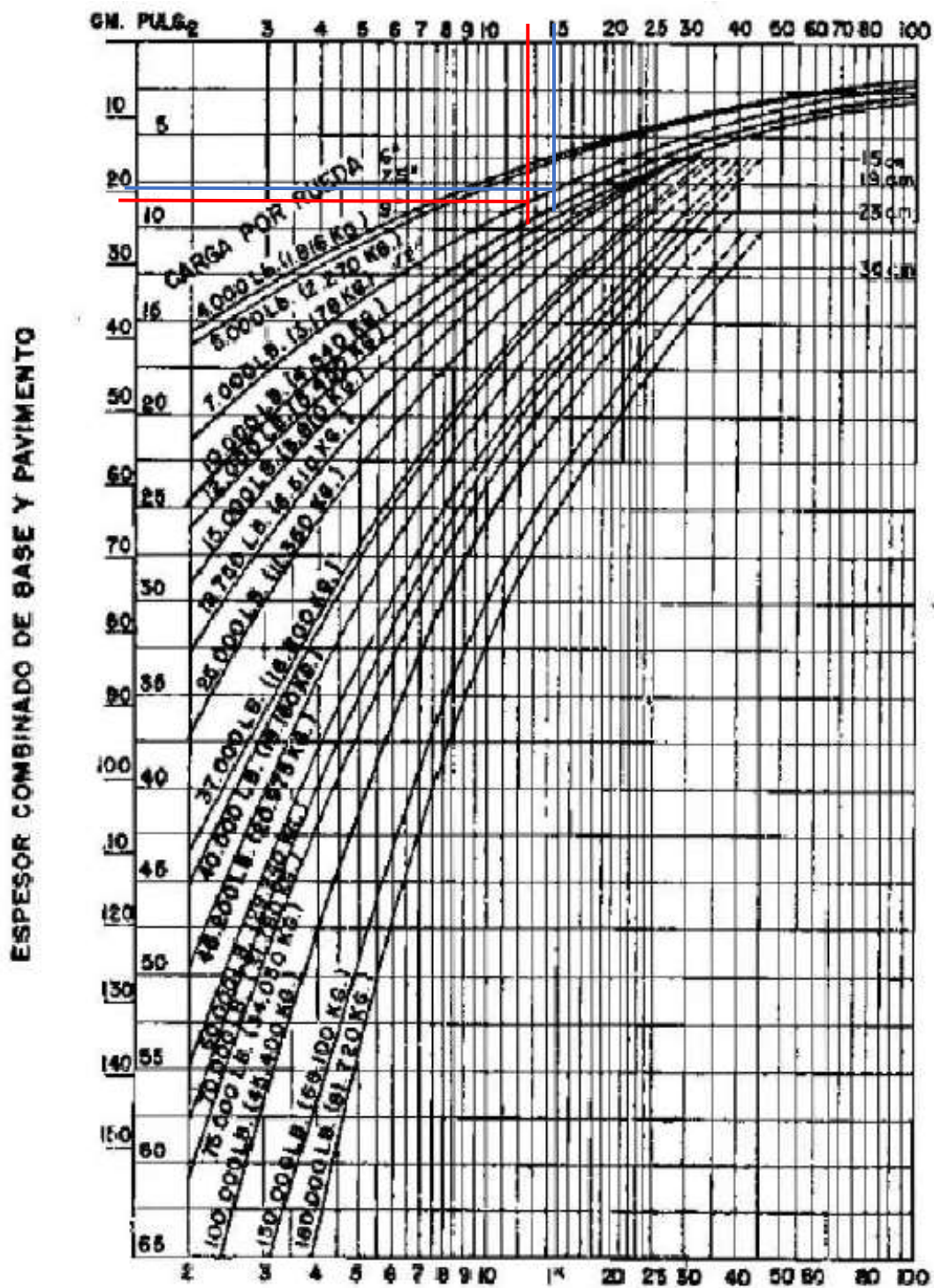
En este tramo se recomienda realizar una capa de rodadura (ripiado) de 15 a 20 cm de espesor ya que la capa subrasante es una piedra tipo laja.

3.8.2..3 Tramo 3 Tolomosa y San Andrés

CBR subrasante del suelo natural (%) = 12.3

CBR subrasante del suelo reforzado con geosintético (%) = 14.2

Figura 3.8.2.3.1 Curvas para el cálculo de espesores para diferentes CBR y carga por rueda (Tramo 3 subrasante A-4(5)).



Fuente: Diseño de Pavimento Flexible por el Procedimiento del Instituto Norteamericano de Asfalto.

Teniendo los datos necesarios se procede a obtener el espesor de la capa de rodadura primero del suelo natural (lo que se indica en la figura con las líneas de color rojo).

Espesor “ e ” (m) = 0.22

Luego se obtuvo el espesor de la capa de rodadura con el suelo reforzado con el material geosintético (lo que se indica en la figura con las líneas de color azul).

Espesor “ e ” (m) = 0.19

Tabla 3.8.2.3.1 Presupuesto general sin refuerzo de geosintético tramo 3.

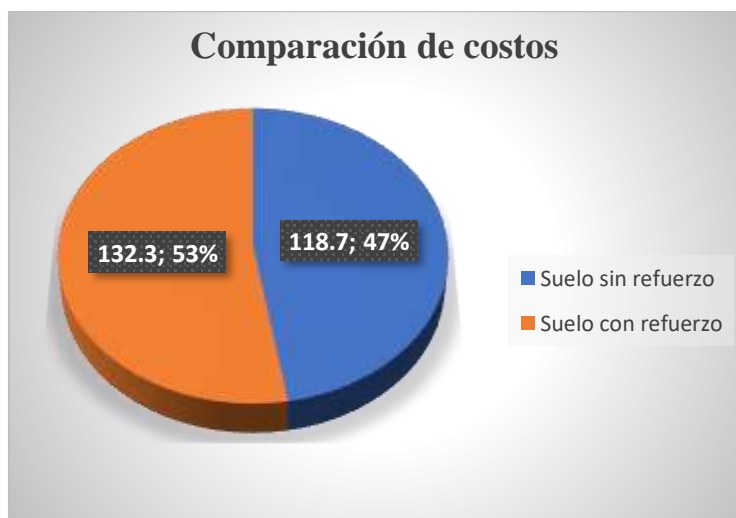
Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: Tolomosa y San Andres						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.220	144.805	31.857	Treinta y Un Bolivianos Con 86/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
Total presupuesto					118.742	Ciento Dieciocho Bolivianos Con 74/100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8.2.3.2 Presupuesto general con refuerzo de geosintético tipo 1 tramo 3.

Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: Tolomosa y San Andres						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.190	144.805	27.513	Veintisiete Bolivianos Con 51/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
4	Provisión y colocado de geotextil	m2	1.000	17.853	17.853	Diecisiete Bolivianos Con 85/100
Total presupuesto					132.250	Ciento Treinta y Dos Bolivianos Con 25/100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8.2.3.2 Comparación de costos tramo 3 geosintético tipo 1.

Fuente: Elaboración propia.

Para el suelo sin refuerzo se tiene un presupuesto general de 118.742 Bolivianos y el suelo reforzado con geosintético tiene un presupuesto general de 132.250 Bolivianos.

Comparando los precios se puede observar que sin el uso del refuerzo del geosintético se tiene un costo menor, pero si se utilizaría el geosintético se tiene una mayor duración de vida útil de la vía terciaria no pavimentada.

Tabla 3.8.2.3.3 Presupuesto general con refuerzo de geosintético tipo 2 tramo 3.

Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: Tolomosa y San Andres						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.190	144.805	27.513	Veintisiete Bolivianos Con 51/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
4	Provisión y colocado de geotextil	m2	1.000	31.945	31.945	Treinta y Un Bolivianos Con 94/100
Total presupuesto					146.342	Ciento Cuarenta y Seis Bolivianos Con 34/100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8.2.3.3 Comparación de costos tramo 3 geosintético tipo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Para el suelo sin refuerzo se tiene un presupuesto general de 118.742 Bolivianos y el suelo reforzado con geosintético tiene un presupuesto general de 146.342 Bolivianos.

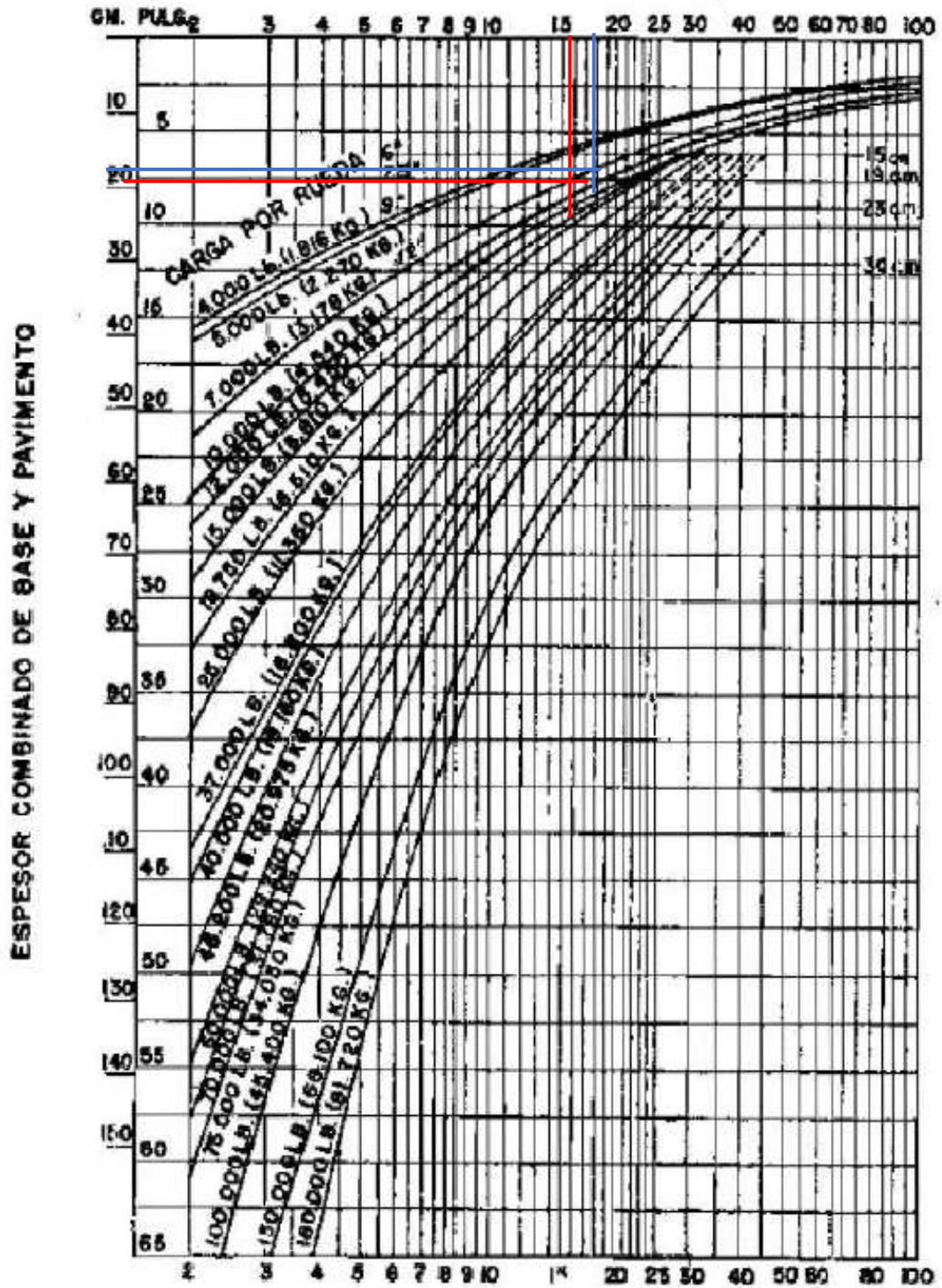
Comparando los precios se puede observar que sin el uso del refuerzo del geosintético se tiene un costo menor, pero si se utilizaría el geosintético se tiene una mayor duración de vida útil de la vía terciaria no pavimentada.

3.8.2..4 Tramo 4 San Juan y Impora.

CBR subrasante del suelo natural (%) = 15.5

CBR subrasante del suelo reforzado con geosintético (%) = 17.7

Figura 3.8.2.4.1 Curvas para el cálculo de espesores para diferentes CBR y carga por rueda (Tramo 4 subrasante A-4(1)).



Fuente: Diseño de Pavimento Flexible por el Procedimiento del Instituto Norteamericano de Asfalto.

Teniendo los datos necesarios se procede a obtener el espesor de la capa de rodadura primero del suelo natural (lo que se indica en la figura con las líneas de color rojo).

Espesor “ e ” (m) = 0.195

Luego se obtuvo el espesor de la capa de rodadura con el suelo reforzado con el material geosintético (lo que se indica en la figura con las líneas de color azul).

Espesor “ e ” (m) = 0.17

Tabla 3.8.2.4.1 Presupuesto general sin refuerzo de geosintético tramo 4.

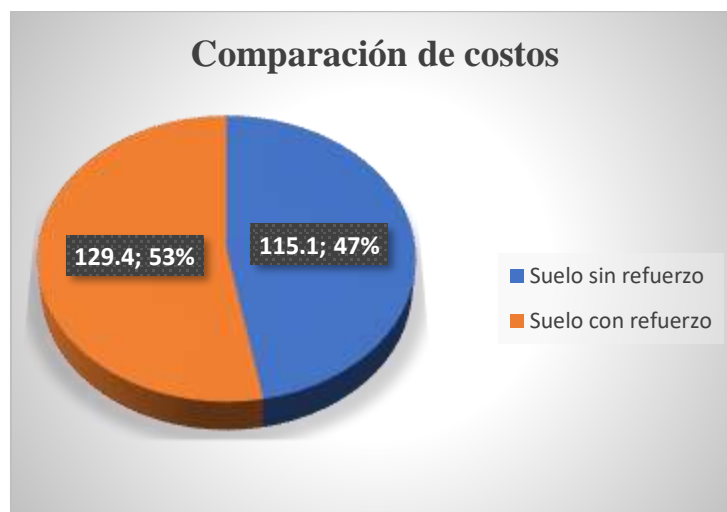
Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: San Juan y Impora						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.195	144.805	28.237	Veintiocho Bolivianos Con 24/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
Total presupuesto					115.122	Ciento Quince Bolivianos Con 12/100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8.2.4.2 Presupuesto general con refuerzo de geosintético tipo 1 tramo 4.

Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: San Juan y Impora						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.170	144.805	24.617	Veinticuatro Bolivianos Con 62/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
4	Provisión y colocado de geotextil	m2	1.000	17.853	17.853	Diecisiete Bolivianos Con 85/100
Total presupuesto					129.354	Ciento Veintinueve Bolivianos Con 35/100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8.2.4.2 Comparación de costos tramo 4 geosintético tipo 1.

Fuente: Elaboración propia.

Para el suelo sin refuerzo se tiene un presupuesto general de 115.122 Bolivianos y el suelo reforzado con geosintético tiene un presupuesto general de 129.354 Bolivianos.

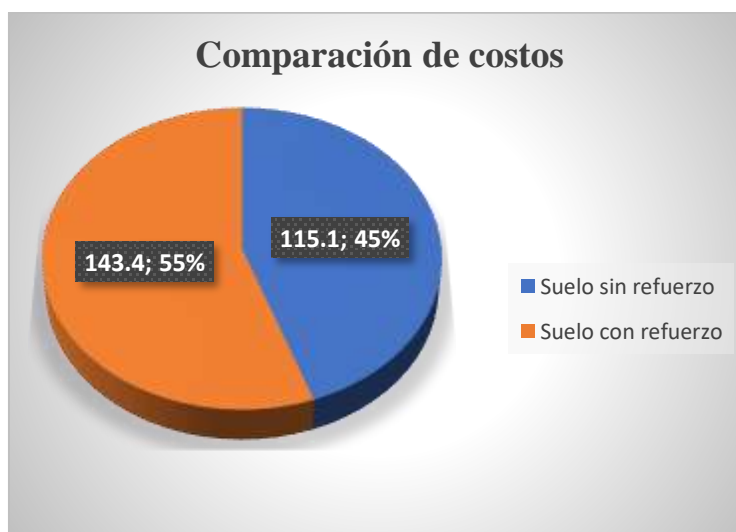
Comparando los precios se puede observar que sin el uso del refuerzo del geosintético se tiene un costo menor, pero si se utilizaría el geosintético se tiene una mayor duración de vida útil de la vía terciaria no pavimentada.

Tabla 3.8.2.4.3 Presupuesto general con refuerzo de geosintético tipo 2 tramo 4.

Presupuesto General						
Proyecto: Evaluación del uso de geosintéticos como refuerzo en vías terciarias no pavimentadas						
Lugar: San Juan y Impora						
Tipo de cambio: 6.90						
Nº	Descripción	Und.	Cantidad	P.U.	Precio Parcial	Literal
1	Preparación del terreno de fundación (compactación)	m2	1.000	85.660	85.660	Ochenta y Cinco Bolivianos Con 66/100
2	Provisión y colocado de ripio	m3	0.170	144.805	24.617	Veinticuatro Bolivianos Con 62/100
3	Nivelación a máquina incl. y conform. Cuneta	km	0.001	1,224.590	1.225	Un Bolivianos Con 22/100
4	Provisión y colocado de geotextil	m2	1.000	31.945	31.945	Treinta y Un Bolivianos Con 94/100
Total presupuesto					143.446	Ciento Cuarenta y Tres Bolivianos Con 45/100

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8.2.4.3 Comparación de costos tramo 4 geosintético tipo 2.



Fuente: Elaboración propia.

Para el suelo sin refuerzo se tiene un presupuesto general de 115.122 Bolivianos y el suelo reforzado con geosintético tiene un presupuesto general de 143.446 Bolivianos.

Comparando los precios se puede observar que sin el uso del refuerzo del geosintético se tiene un costo menor, pero si se utilizaría el geosintético se tiene una mayor duración de vida útil de la vía terciaria no pavimentada.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Luego de analizar y comparar los resultados de los ensayos en laboratorio realizados, las principales conclusiones obtenidas se presentan a continuación.

- Se cumplió el objetivo general planteado de evaluar el uso de geosintéticos en vías terciarias no pavimentadas, observando que se tienen mejoras en las propiedades mecánicas.
- Se logró estudiar las funciones que tienen los geosintéticos para el uso en redes viales que se muestran en la siguiente tabla:

Funciones mecánicas	Funciones hidráulicas
Separar	Drenar
Reforzar	Filtrar
Proteger	Impermeabilizar

- Se demuestra que se logró caracterizar el suelo de las vías terciarias no pavimentadas y con estos datos se realizó la clasificación respectiva del suelo que tienen las vías terciarias no pavimentadas. En el tramo 1 se tiene que la capa de rodadura es un suelo A-1-b (0) y la capa subrasante tiene 2 tipos de suelos el primero es un suelo A-4 (6) y el segundo es un suelo A-7-6 (13). En el tramo 2 se tiene que la capa de rodadura es un suelo A-1-b (0) y la capa subrasante es un tipo de roca laja. En el tramo 3 se tiene que la capa de rodadura es un suelo A-1-b (0) y la capa subrasante es un suelo A-4 (5). En el tramo 4 se tiene que la capa de rodadura es un suelo A-1-b (0) y la capa subrasante es un suelo A-4 (1). Siendo el tramo el tramo 1 el tramo con peores características en su subrasante ya que el mismo es un suelo muy fino.
- Se demuestra que el CBR obtenido en laboratorio con el refuerzo de geosintético es superior al CBR obtenido en laboratorio con las muestras de suelo natural, en la mayoría de los casos. Como se muestra en la siguiente tabla:

	sub	sub	sub	sub + roda	sub + roda
CBR (%) sin geosintetico	12.018	5.533	12.351	48.269	45.608
CBR (%) con geosintetico	13.515	6.364	14.18	48.934	46.107

- Se demuestra que con la primera combinación que sería usando el geosintético como refuerzo en el suelo fino (capa subrasante) se tiene un mejoramiento del suelo mayor que en las otras combinaciones.

COMBINACIONES	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	Porcentaje de mejora		
1 Combinacion	12.453	14.810	13.937
2 Combinacion	1.378	1.044	1.162
3 Combinacion	1.723	1.740	1.549

- Se demuestra que el geosintético tipo 1 tiene una mayor resistencia que el geosintético tipo 2.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	Porcentaje de mejora		
Geotextil tipo 1	12.453	15.027	1.378
Geotextil tipo 2	9.685	12.021	1.034

- Observando los costos que se tienen del suelo natural y con el del suelo reforzado en todos los tramos se tiene que el costo si se refuerza el suelo con geosintético (geotextil) sería mayor que realizando simplemente una capa de rodadura con mayor espesor.

Presupuesto general sin refuerzo	136.100	Bolivianos
Presupuesto general con refuerzo	149.600	Bolivianos

4.2 RECOMENDACIONES

Recomendaciones para el trabajo en laboratorio

- En el proceso de extracción de la muestra es recomendable guardar el suelo en bolsas plásticas lo más impermeables posible. Esto con el fin de no perder humedad y otras propiedades del suelo.
- Los equipos deberían estar muy bien calibrados por ser sumamente importante para obtener valores confiables. De no ser así estamos frente de ensayos y valores fluctuosos.
- Se recomienda para realizar los ensayos ya con los materiales de refuerzo que son los geosintéticos, realizar un buen cuarteo del material para tener los 3 moldes para cada combinación para que los datos nos salgan los más próximos posibles.

Recomendaciones para el uso de los geosintéticos

- Los geosintéticos (geotextiles no tejidos) usados en la investigación se los recomienda utilizar como refuerzo en suelos blandos (subrasantes de suelo fino).
- Los fabricantes recomiendan para estabilizar suelos granulares (bases) usar el geosintético tipo geomalla coextruidas bi-direccionales.
- Los fabricantes recomiendan el uso de los geosintéticos tanto como para zonas áridas como para zonas no áridas ya que estos están formados a base de polímeros sintéticos y estos son resistentes a los cambios de temperatura.
- Para la zona del valle central se recomienda utilizar los geosintéticos tipo geotextil ya que en esta zona el tipo de subrasante por lo general es un suelo fino.
- Para la zona del chaco se recomienda utilizar los geosintéticos tipo geotextil tejido.