

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**“APLICACIÓN DE LA GUÍA AASHTO 93 PARA EL DISEÑO DEL  
PAVIMENTO CON GEOSINTÉTICOS EN LA CARRETERA:  
VARIANTE COPORAQUE (2.2 Km)”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**WALTER HUGO MELGAREJO VELÁSQUEZ**

**Lima - Perú**

**2014**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de graduación se lo dedico primeramente a **Dios todopoderoso** por regalarme la vida, brindarme salud y sabiduría para terminar este trabajo y así cumplir mi sueño de graduarme.

**A mis padres Aquilino Marcelino Melgarejo Espinoza y Maximiliana Velásquez Trebejo**, por hacer el sacrificio en brindarme la oportunidad de una educación que me permita formarme como un profesional, por su paciencia a lo largo de toda la carrera y la confianza puesta en mi para que pudiera salir adelante.

**A mi esposa Yovana Mamani Anarpuma y mi hija Nicole Sharella Melgarejo Mamani**, por su cariño y afecto, gracias porque cada día me dan fuerzas para salir adelante y que me han permitido lograr mi objetivo.

**A mis hermanos Nancy, Armando, Julia, Víctor, Patricia, Ronaldo y Hugo Benjamín**, por su cariño y afecto, gracias por haber estado pendientes y dispuestos a ayudarme.

**A mis abuelos Víctor Melgarejo y Teodosia Espinoza, Armando Velásquez; a mis tíos Francisco Reynalde, Sara Melgarejo y María Espinoza**, por ser mi inspiración ya que fueron mis grandes consejeros, me brindaron su afecto y cariño desde pequeño, sé que desde el cielo estarán orgullosos de mis logros.

**A la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI); en especial a la Facultad de Ingeniería Civil (FIC), los ingenieros docentes y mis compañeros**, por su respaldo y apoyo a lo largo de toda mi carrera, en esas noches largas de desvelo y trabajo continuo, que al final vale la pena hacerlo.

**A mis amigos de toda la vida**, porque los conozco desde hace tiempo y estuvieron conmigo en las buenas y las malas, gracias por su amistad.

**WALTER HUGO MELGAREJO VELÁSQUEZ**

<b>ÍNDICE</b>	<b>1</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>3</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>4</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES</b> .....	<b>9</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	9
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	10
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.4 OBJETIVOS.....	11
1.4.1 Objetivo Principal .....	11
1.4.2 Objetivos Específicos.....	11
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1 GUÍA AASHTO 93: RESEÑA HISTÓRICA.....	12
2.1.1 Concepto básico y recomendaciones al usuario.....	13
2.1.2 Características y consideraciones de diseño.....	13
2.2 GEOSINTÉTICOS.....	19
2.2.1 Clasificación.....	19
2.2.2 Funciones principales.....	21
<b>CAPÍTULO III: MÉTODO DE LA GUÍA AASHTO 93 Y GENERALIDADES DE LOS GEOSINTÉTICOS</b> .....	<b>23</b>
3.1 DISEÑO DE PAVIMENTOS .....	23
3.1.1 Estructura de pavimento en caminos de BVT.....	23
3.1.2 Método AASHTO 93 para caminos de BVT.....	24

3.1.3	Método del Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas BVT27	
3.2	APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS .....	35
3.2.1	Características principales de geosintéticos usados en pavimentos..	35
3.2.2	Separación y estabilización de subrasantes con geotextiles .....	36
3.2.3	Refuerzo de subrasantes con geomallas (biaxiales y triaxiales).....	40
<b>CAPÍTULO IV: APLICACIÓN A LA VARIANTE COPORAQUE (2.2 Km)...</b>		<b>46</b>
4.1	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	46
4.2	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	46
4.2.1	Estudio de tráfico .....	46
4.2.2	Estudio de suelos y canteras.....	49
4.3	DISEÑO DE PAVIMENTOS .....	50
4.3.1	Características técnicas de los materiales granulares .....	50
4.3.2	Parámetros de diseño .....	50
4.3.3	Refuerzo de subrasantes usando la metodología AASHTO 93 .....	52
4.3.4	Características técnicas de los materiales geosintéticos .....	59
4.3.5	Refuerzo de subrasantes usando geosintéticos .....	59
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>65</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	65
5.2	RECOMENDACIONES .....	71
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>73</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>74</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 3.01:	Tipo de carretera y periodo de diseño en años	24
Cuadro N° 3.02:	Factor de distribución por carril	25
Cuadro N° 3.03:	Valores de la desviación estándar normal (ZR), correspondientes a los niveles de confiabilidad (R)	25
Cuadro N° 3.04:	Valores de índice de serviciabilidad (PSI)	26
Cuadro N° 3.05:	Criterio para el cálculo de los factores destructivos por eje equivalente	28
Cuadro N° 3.06:	El tráfico proyectado al año horizonte	28
Cuadro N° 3.07:	Categorías de subrasantes de acuerdo al tipo de CBR	29
Cuadro N° 3.08:	Coeficientes de drenaje	31
Cuadro N° 3.09:	Granulometría correspondiente según tipo de afirmado	32
Cuadro N° 4.01:	Tasa de crecimiento del tráfico por tipo de vehículo	46
Cuadro N° 4.02:	Resumen de tráfico proyectado	46
Cuadro N° 4.03:	Factores de carga	48
Cuadro N° 4.04:	Resumen de número acumulado de repeticiones	48
Cuadro N° 4.05:	Zonificación geotécnica con fines de diseño de pavimento	49
Cuadro N° 4.06:	Características técnicas del afirmado	50
Cuadro N° 4.07:	Resumen de número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes (periodo de 5 años)	51
Cuadro N° 4.08:	Sectores con CBR < 6%	52
Cuadro N° 4.09:	Cálculo de espesores de mejoramiento de subrasante	54
Cuadro N° 4.10:	Valor de diseño del percentil	56
Cuadro N° 4.11:	Análisis del soporte (CBR)	56
Cuadro N° 4.12:	Resumen de valor soporte (CBR) de diseño	57
Cuadro N° 4.13:	Tabla de espesores de afirmado calculado	58
Cuadro N° 4.14:	Estructura de pavimentos recomendada	58
Cuadro N° 4.15:	Cálculo de espesores de mejoramiento	60
Cuadro N° 4.16:	Análisis del soporte (CBR)	62
Cuadro N° 4.17:	Resumen de valor soporte (CBR) de diseño	62
Cuadro N° 4.18:	Tabla de espesores de afirmado calculado	63
Cuadro N° 4.19:	Estructura de pavimentos recomendada	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.01:	Secciones típicas para estructuras de pavimentos flexibles o rígidos	14
Figura N° 2.02:	Estructuras de pavimentos: flexibles, superficies de agregados y articulados	14
Figura N° 2.03:	Geotextil tejido	20
Figura N° 2.04:	Geotextil no tejido	20
Figura N° 2.05:	Geomallas uniaxiales	20
Figura N° 2.06:	Geomallas biaxiales	20
Figura N° 2.07:	Geomallas multiaxiales	21
Figura N° 2.08:	Función de separación	22
Figura N° 2.09:	Función de refuerzo	22
Figura N° 2.10:	Función de refuerzo con geomallas	22
Figura N° 2.11:	Función de filtración	22
Figura N° 2.12:	Función de drenaje	22
Figura N° 3.01:	Sección típica de superficie de rodadura	23
Figura N° 3.02:	Determinación de espesores de capa de revestimiento granular	33

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

<b>AASHTO</b>	Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transportes (American Association of State Highway and Transportation Officials)
<b>ASTM</b>	Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing Materials)
<b>BVT</b>	Bajo Volumen de Tránsito
<b>CBVT</b>	Carretera de Bajo Volumen de Tránsito
<b>EG - CBVT</b>	Especificaciones Generales para Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito
<b>FHWA</b>	Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration – USA)
<b>INDECOPI</b>	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia de la Propiedad Intelectual
<b>MTC</b>	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
<b>NCHRP</b>	Cooperativa Nacional de Investigación de Carreteras (National Cooperative Highway Research Program USA).
<b>PSI</b>	Índice de Serviciabilidad del Pavimento
<b>ESAL</b>	Carga de Eje Equivalente Simple (Equivalent Single Axle Load)
<b>TPDA</b>	Tránsito promedio diario anual
<b>IMDA</b>	Índice medio diario anual
<b>CBR</b>	Capacidad de Soporte del suelo (California Bearing Ratio)
<b>MR</b>	Módulo Resiliente (Capacidad de soporte del suelo)
<b>TDM</b>	Tecnología de Materiales (Empresa)
<b>SN</b>	Número Estructural
<b>ton</b>	Tonelada métrica
<b>psi</b>	Libras por pulgada al cuadrado
<b>Kip</b>	Kilolibras por pulgada al cuadrado
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>m</b>	Metro

## RESUMEN

La ingeniería enfrenta permanentemente el reto de construir y mantener estructuras de pavimento con recursos económicos limitados. Por esta razón, con mayor frecuencia los ingenieros recurren a alternativas de diseño que consideran materiales térreos de calidad secundaria, productos elaborados que suplan las deficiencias de los materiales de construcción disponibles y prácticas de diseño innovadoras, tal es el caso del uso de geomallas o geotextiles como elementos de estabilización de subrasantes blandas compresibles.

Las geomallas utilizadas como refuerzo son soluciones que presentan altas resistencias a la tensión para trabajar en conjunto con los suelos, los cuales presentan resistencia a la compresión, formando sistemas reforzados que generan beneficios en las obras de infraestructura. Como complemento a las geomallas, el geotextil utilizado se traduce en una barrera para migración de partículas entre dos tipos de suelo, es decir, como separación en la interfaz suelo de fundación – capas granulares, facilitando la transmisión de agua.

En el presente Informe de Suficiencia se realizó el diseño del pavimento de la carretera Variante Coporaque (2.2 Km), ubicado en el Sector Coporaque, en la región Cusco. El tramo comprendía desde la progresiva 173+800 hasta la progresiva 176+000, de los cuales se observó tres zonas de esta carretera que presentan suelos blandos, es decir, tienen baja capacidad de soporte por lo que fue necesario hacer el mejoramiento de la subrasante.

Para realizar el mejoramiento de la subrasante se aplicaron las metodologías, AASHTO 93 con complemento del Manual de Diseño de Carreteras de BVT, y con uso de geosintéticos. Los resultados obtenidos por ambas metodologías se compararon, llegando a la conclusión de que el uso de geosintéticos permite mejor optimización de recursos. De los cálculos obtenidos se escogió con criterio los geosintéticos como geomallas biaxiales P-BX12 y geomallas triaxiales TX160 como refuerzo, y geotextiles NT 2500 como separación, con una capa de mejoramiento de 0.50 m; y aplicando la Metodología NAASRA se obtuvo el espesor capa de rodadura de 0.20 m que consistía de material de afirmado Tipo 3 (EG-CBVT 2008).



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años la construcción de carreteras ha demandado la utilización de nuevas tecnologías, para mejoras en el desempeño estructural del pavimento, permitiendo prolongar la vida útil de los mismos, que sean amigables con el ambiente y además resulten rentables económicamente.

La aplicación de los geosintéticos en muchas ocasiones ha sido una solución exitosa pero en algunos casos la falta de conocimiento y de una metodología de diseño que permita definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares de cada proyecto, no ha permitido que los beneficios de esta tecnología sean aprovechados en su total magnitud. La aplicación eficaz de geosintéticos, promueve sus capacidades y formula diseños preliminares que permitan definir requerimientos técnicos de acuerdo a cada tipo de obra. Como resultado de este proceso, se presenta metodologías de diseño para separación y estabilización de vías, refuerzo en vías con geotextiles y geomallas, pavimentación y repavimentación, sistemas de subdrenaje, refuerzo en muros de contención, refuerzo de taludes, refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos, entre otras.

El objetivo de este trabajo es determinar un diseño de pavimento para carreteras de BVT, con uso de geosintéticos y que cumpla con las consideraciones del procedimiento de la Guía AASHTO 93. De esta manera se pretende demostrar de una forma técnica, qué tanto podemos optimizar recursos a la hora de construir una carretera, en este caso con el uso de geotextiles y geomallas. Es aquí donde la herramienta de ingeniería también se vuelve herramienta social y de desarrollo, lo cual será siempre el objetivo de cualquier empresa humana.

El presente trabajo comprende los capítulos siguientes:

En el Capítulo I, se describe las generalidades correspondientes del proyecto en estudio mencionando los antecedentes, seguidamente se justifica la realización de este trabajo con fines sociales y de gran importancia al desarrollo de la población, además se plantea el problema a resolver y los objetivos correspondientes.

En el Capítulo II, se describe el marco teórico relacionado a la Guía AASHTO 93, su reseña histórica, conceptos básicos y recomendaciones al usuario, características y consideraciones de diseño, clasificaciones y funciones principales de geosintéticos.

En el Capítulo III, se describe el diseño de pavimentos mediante el método AASHTO 93, el método del Manual de Carreteras de bajo volumen de tránsito y además la aplicación de geosintéticos y características técnicas de estos.

En el Capítulo IV, se detalla la aplicación a la Variante Coporaque (2.2 km), que incluye la recopilación de informaciones de tráfico, suelos, canteras y fuentes de agua, el diseño de pavimentos y las metodologías de diseño.

En el Capítulo V, se mencionan las conclusiones del trabajo realizado y las recomendaciones a tener en cuenta en el desarrollo de estudios similares.

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

El Plan Binacional de Desarrollo de la Región Fronteriza Perú - Ecuador fue constituido por los gobiernos del Perú y del Ecuador, con la finalidad de dar importancia a la infraestructura vial que es uno de los principales soportes para el desarrollo del ámbito de la región fronteriza con el Ecuador, en especial para las carreteras debajo volumen de tránsito (BVT), que interconectan poblaciones rurales, muchas veces localizadas en zonas lejanas y fronteras.

En marzo del año 2008, entra en vigencia el “Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”, el cual resulta de la actualización de la versión emitida en el año 2005 por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), haciendo de esta manera que la normatividad vial sea dinámica con los avances de la ingeniería vial y que permitirá manejar diferentes alternativas de construcción y mantenimiento según las diversas condiciones locales del Perú.

En setiembre del año 2010, la empresa suiza Xstrata formalizó el convenio de concesión para la exploración del proyecto minero Las Bambas con Pro Inversión al obtener la titularidad de las concesiones mineras Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba y Charcas, en donde se invertirá US\$4.200 millones en extraer el cobre que existe en estos depósitos ubicados entre las provincias Grau y Cotabambas, en la región Apurímac.

Para cumplir con los objetivos trazados, ya desde agosto del año 2010, se comenzaron los trabajos de investigación, para realizar los estudios respectivos de ingeniería que permitirían materializar los caminos de accesos vecinales o rurales (caminos de BVT) desde Las Bambas hasta Antapaccay, teniendo como tramo de estudio en el sector Coporaque, la Variante Coporaque que se encuentra ubicada desde el Km 173+800 hasta el Km 176+000, según los estudios de ingeniería.

En la actualidad, para el diseño de pavimentos de afirmado se siguen diversos procedimientos como el uso de la Guía AASHTO 93, pero a veces, dicho

procedimiento nos lleva a obtener espesores de pavimentos muy grandes, es allí, donde se necesita el complemento del uso de geosintéticos (geomallas y geotextiles), producto estudiado por años, que ha sido tecnificado y normalizado para su utilización incluso en suelos y condiciones climáticas tan difíciles como los de nuestro país.

La aplicación eficaz de geosintéticos, permitirá que la herramienta ingenieril se convierta en una herramienta social y económica, que busque el desarrollo construyendo carreteras en lugares o zonas muy alejadas del Perú, que por el costo no han podido acceder a las mismas.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Siendo el diseño y construcción de carreteras de BVT, con aplicación del “Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito” (vigente desde el 2008) de relativa novedad en el Perú, se viene ganando experiencia en los diferentes proyectos similares ejecutados principalmente en las provincias del país (andinas y amazónicas) en los que se hace uso de geosintéticos, para optimizar recursos, pero no de manera eficaz.

Los resultados que se obtengan del diseño de pavimentos de afirmado permitirán ver de qué manera se pueden optimizar los recursos de las canteras y proporcionarán criterios para diseñar una infraestructura vial en especial las carreteras de bajo volumen de tránsito que son de gran importancia debido a que interconectan poblaciones rurales, muchas veces localizadas en zonas lejanas de nuestro país.

## 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Muchas poblaciones que viven en los lugares más alejados del Perú, como es el caso del sector Coporaque, la Variante Coporaque (2.2 Km), en la provincia de cusco, carecen de infraestructura vial, generalmente cuentan con trochas o caminos intransitables, lo cual hace que se generen muchos accidentes y se pierdan vidas humanas. Se presentan entonces una serie de factores predominantes como el relieve accidentado del terreno, el clima, ubicación de canteras muy alejadas, suelos de baja resistencia, que no facilitan la

construcción de caminos rurales (caminos de bajo volumen de tránsito) en esos lugares, porque económicamente no es factible realizarlas. A pesar de los inconvenientes es muy importante que estas poblaciones cuenten con una infraestructura vial, que les permita realizar sus actividades con facilidad, de manera rápida y que puedan llegar a otras comunidades.

El no tener una metodología única para el diseño de carreteras de BVT con uso de geosintéticos, teniendo en cuenta que se trata de diseño de pavimentos en el que se pueden aplicar diferentes métodos como el TRL (Laboratorio de investigación del transporte) de Inglaterra, PELTIER (ábaco), la Guía AASHTO 93, entre otras, muchas veces el procedimiento seguido podría generar controversias y especulaciones, como el tamaño de los espesores de la estructura de pavimento y el uso eficaz de los geosintéticos.

El problema radica en que si bien es posible determinar los espesores de las capas del pavimento, con relativa precisión, se debe tener un adecuado criterio para ver las condiciones y características del pavimento que requiere el proyecto.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo Principal**

Determinar un diseño de pavimento para carreteras de BVT, con uso de geosintéticos y que cumpla con las consideraciones del procedimiento de la Guía AASHTO 93.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Definir el procedimiento de diseño para pavimentos mediante la Guía AASHTO 93, y las generalidades de los geosintéticos (precisando más en las características de las geomallas y geotextiles).
- Diseñar el pavimento de afirmado para BVT para la Variante Coporaque (2.2 Km).

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 GUÍA AASHTO 93: RESEÑA HISTÓRICA**

La metodología de diseño de pavimentos AASHTO, con sus diferentes versiones, se basa en los resultados experimentales obtenidos en el AASHTO Road Test (experimento de carretera), en Ottawa, cuyo proyecto data de 1951 y que inició la construcción de tramos de prueba en 1956.

El objetivo principal del AASHTO Road Test fue el de obtener relaciones confiables referentes al comportamiento y deterioro en los pavimentos después de que se les aplicaran cargas controladas de tránsito. Para ello, se realizaron tramos de pavimentos flexibles y rígidos.

Los primeros resultados fueron registrados entre 1958 y 1960, así pues la primera guía de diseño AASHTO fue concebida en 1962 con el nombre de Interim Guide for Design of Pavement Structures (Guía provisional para el Diseño de Estructuras de Pavimento), la misma que ha sido evaluada y revisada en 1972 y 1981.

En 1984, un subcomité de diseño y demás consultores la terminaron de revisar publicándola en 1986, con varias modificaciones, con el nombre de AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento).

En 1993 se vuelve a revisar pero sin cambios en lo que a diseño de pavimentos de concreto se refiere y en 1998, con el suplemento de diseño AASHTO 1998, se intenta incorporar conceptos mecanicistas a la guía.

Es así que a través de diversas versiones, AASHTO lanza su metodología de diseño basada en las relaciones empíricas registradas en el AASHTO Road Test.

### 2.1.1 Concepto básico y recomendaciones al usuario

Los costos en construcción, mantenimiento y rehabilitación son considerados a partir de un elemento simple: la estructura del pavimento.

Cada usuario debe considerar a la guía AASHTO 93 como documento de referencia y evaluar cuidadosamente su necesidad para cada concepto y qué valores de entradas usar.

Las componentes de entrada al proceso de diseño se refieren a la geometría de la estructura; básicamente son los espesores de cada capa; las propiedades de los materiales que conforman cada una de esas capas que serán módulos dinámicos o resilientes; y el nivel de tránsito vehicular definido ya sea en ejes equivalentes o, preferentemente, a través de su correspondiente espectro de distribución de cargas, que veremos más adelante.

La selección del diseño inicial consiste en una primera estimación de valores para esas componentes de entrada.

### 2.1.2 Características y consideraciones de diseño

La Guía AASTHO 93, proporciona un grupo completo de procedimientos, los cuales pueden ser usados para el diseño y rehabilitación de pavimentos con características siguientes:

- Rígidos (superficie de concreto de cemento Portland)
- Flexibles (superficie de concreto asfáltico)
- Superficies de agregados (capas de afirmado)

La sección típica es definida por la **Figura N° 2.01** donde el espesor total del pavimento y sus capas es determinada mediante diseño.

Cabe recalcar que el diseño de pavimentos envuelve no solo una definición de espesores de pavimentos, también comprende las consideraciones siguientes:

- Material requerido (con sus características)
- Requerimientos de construcción (con el procedimiento a seguir)
- Control de calidad (en los momentos y con los elementos que se usan)

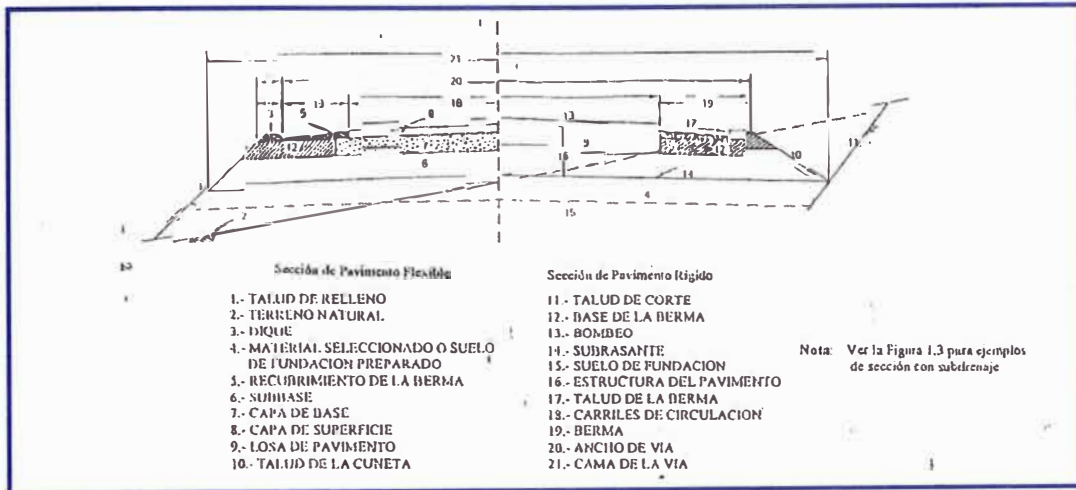


Figura N°2.01: Secciones Típicas para Estructuras de pavimentos Flexibles o Rígidos.

Fuente: Guía AASHTO 93 (versión en español).

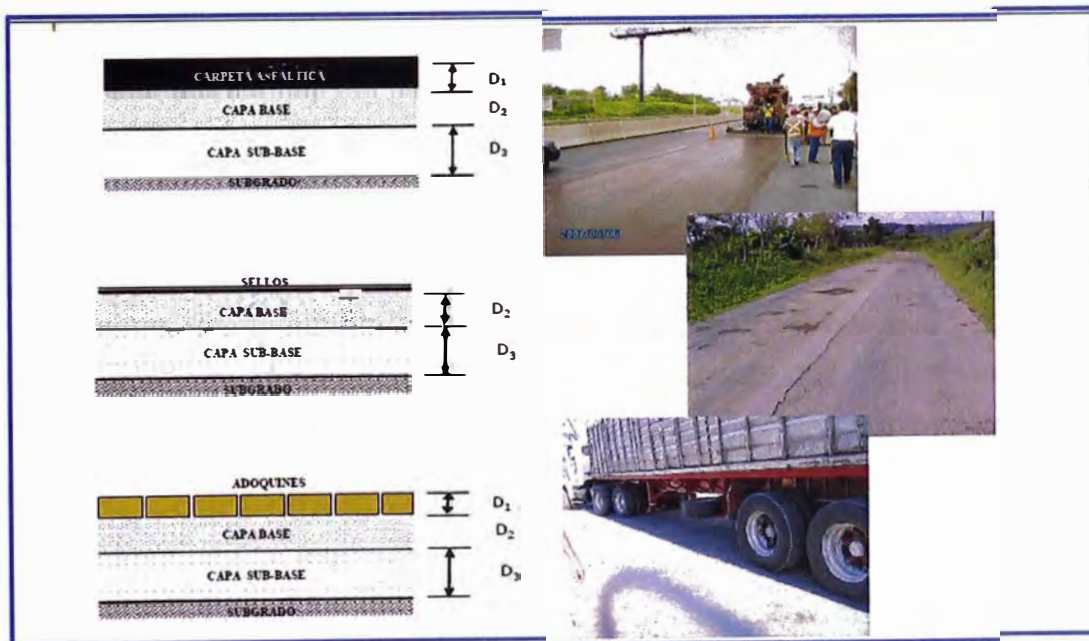


Figura N° 2.02: Estructuras de pavimentos: flexibles, superficies de agregados y articulados.

Fuente: Libro Diseño de Pavimentos AASHTO-93.



### **a. Comportamiento del pavimento (performance)**

Los conceptos actuales del comportamiento de los pavimentos incluyen ciertas consideraciones de comportamiento funcional, comportamiento estructural y seguridad.

El comportamiento estructural de un pavimento se relaciona con su condición física, esto es, con la ocurrencia de agrietamientos, fallas, peladuras, u otras situaciones que podrían afectar exclusivamente la capacidad de soporte de la estructura del pavimento o en todo caso, requerir mantenimiento.

El comportamiento funcional de un pavimento se refiere cuán bien sirve el pavimento al usuario. En este contexto el confort o calidad de la transitabilidad es la característica predominante.

La información pertinente de seguridad puede ser encontrada en publicaciones apropiadas de la NCHRP (como su publicación "Investigación Reciente de Diseño Geométrico para Seguridad y Operaciones Mejores"), FHWA y AASHTO (como publicaciones anuales sobre programas multianuales de mejoramiento de seguridad vial).

### **b. Tráfico**

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que puedan resistir un número determinado de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN ó 18 kips ó 8.2 Ton. Se los denominará de aquí en adelante ESAL (Equivalent Single Axle Load), que es la sigla en inglés de "Carga de Eje Equivalente Simple".

#### **• Análisis del tránsito**

En todo estudio de tránsito se deben coleccionar al menos dos datos: tránsito promedio diario anual (TPDA) y tránsito promedio diario anual de camiones (TPDAC). Estos pueden ser obtenidos a partir de censos de tránsito en el lugar

de la futura construcción (si existe la ruta y va a ser pavimentada o repavimentada) o si es totalmente nueva mediante censos de tránsito en lugares próximos.

También es necesario conocer las tasas de crecimiento de tránsito, así como la distribución por dirección y si se trata de un camino de varios carriles, la distribución por carril.

Es necesario conocer el porcentaje de camiones presentes en el volumen de tránsito a estudiar, así como también la clasificación de estos camiones.

La FHWA reconoce trece clases distintas de vehículos para el cálculo de los ESALs. Estos son:

1. Motocicletas
2. Automóviles
3. Otros vehículos de dos ejes y cuatro ruedas
4. Ómnibus
5. Camiones simples, 2 ejes, 6 ruedas
6. Camiones simples, 3 ejes
7. Camiones simples, 4 ó más ejes
8. Camiones semirremolques de 4 ó menos ejes
9. Camiones semirremolques de 5 ejes
10. Camiones semirremolque de 6 ó más ejes
11. Camiones c/acoplado de 5 ó menos ejes
12. Camiones c/acoplado de 6 ejes
13. Camiones c/acoplado de 7 ó más ejes

Así como la distribución del tipo de camiones es importante también el peso total del camión y distribución por ejes de este peso.

- **Limitaciones de la información**

Es pertinente notar que los factores de equivalencia de cargas usados en ésta Guía están basados en observaciones en la Carretera Experimental AASHO en Ottawa, Illinois. En ese contexto, deben reconocerse algunas limitaciones tales como:

#### Tipos limitados de pavimentos

Cargas y aplicaciones de cargas  
Edad del pavimento  
Condiciones ambientales

### **c. Suelo de fundación**

Se caracteriza con el módulo resiliente (MR), cuya determinación esta dado en el Método de Ensayo AASHTO T274.

El MR fue seleccionado para reemplazar el valor de soporte del suelo utilizado, por las siguientes razones:

Indicar una propiedad básica del material usado en el diseño.

Los métodos para la determinación del MR están descritos en el Método de Ensayo AASHTO T274.

Reconocida internacionalmente para ser usada en diseño de pavimentos y evaluaciones para rehabilitaciones.

El valor de MR de varios materiales se puede estimar mediante técnicas por medio de ensayos no destructivos.

Es necesario el uso de equipo para evaluar el valor de MR del material, pero se hace correlación con el CBR.

### **d. Materiales de Construcción**

Los materiales influyen en la calidad del pavimento, eso genera que se tome más consenso en el uso de módulos elásticos para caracterizar a los materiales. De acuerdo al tipo de pavimento, se tienen los siguientes materiales:

- Concreto de cemento Pórtland (MTC E - 717)
- Concreto asfáltico (MTC E – 506)
- Bases granulares estabilizadas y no estabilizadas (MTC E – 117/124)

### **e. Condición ambiental**

Las condiciones ambientales se dan mediante dos factores principales:

La temperatura

La lluvia

Estas dos condiciones afectan:

Congelamiento y descongelamiento del suelo de fundación (mayor efecto en el inicio de la estación de primavera)

Escarchado y congelamiento severo causa reducción del PSI del pavimento.

Si la lluvia se permite penetrar a la estructura del pavimento o suelo de fundación puede influenciar en las propiedades de los materiales.

Para que se produzca agregados del hielo en los materiales del pavimento, el suelo debe ser susceptible al congelamiento, la temperatura de congelamiento debe penetrar el suelo y el agua debe estar disponible.

### **f. Drenaje**

El drenaje del agua de los pavimentos ha sido siempre una consideración importante en el diseño de carreteras, para conseguir un adecuado drenaje de pavimento el diseñador debe considerar tres tipos de drenaje principalmente:

Drenaje superficial, y

Drenaje del subsuelo,

Ambos para conducir el agua que discurre libremente.

Drenaje estructural, considerando el agua mantenida por capilaridad y por los finos que no puede drenarse, por ello se debe considerar en el diseño de mezcla del pavimento.

### **g. Confiabilidad**

La confiabilidad se refiere al grado de certidumbre (seguridad) de que una determinada alternativa de diseño alcance a durar, en la realidad, el tiempo establecido en el período seleccionado.

### **h. Diseño de berma**

La berma es la porción de la carretera contigua a la transitada, para la acomodación de parada de vehículos, para uso de emergencia y para soporte de las capas de base y subbase.

## **2.2 GEOSINTÉTICOS**

### **2.2.1 Clasificación**

Los geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geoceldas, las geomembranas, los geonet, los geocompuestos y mantos para control de erosión derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores.

Dado a que los geotextiles y las geomallas son una parte esencial de este trabajo, le daremos mayor amplitud a sus propiedades en este capítulo y capítulos posteriores.

#### **a. Geotextiles**

Un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser no Tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas. Dado a que los geotextiles son una parte esencial de este trabajo, le daremos mayor amplitud a sus propiedades en capítulos posteriores.



Figura N° 2.03: Geotextil tejido



Figura N° 2.04: Geotextil no tejido

Fuente: PAVCO

### b. Geomallas

Son estructuras tridimensionales pero con las características de ser uniaxiales, biaxiales y multiaxiales orientadas. Están fabricadas en polietileno de alta densidad, utilizando un proceso de extrusión. Tienen una mayor adherencia al terreno y una mayor durabilidad en el medio que los geotextiles. Dado a que las geomallas son una parte esencial de este trabajo, le daremos mayor amplitud a sus propiedades en capítulos posteriores.

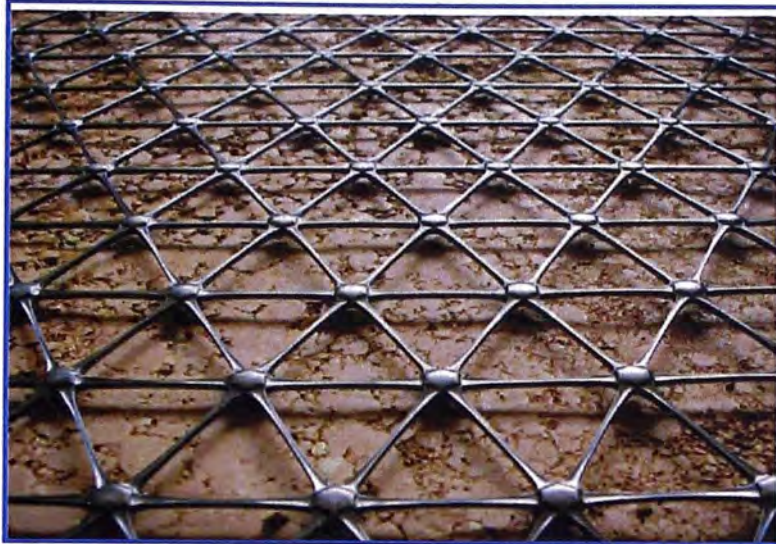


Figura N° 2.05: Geomallas uniaxiales



Figura N° 2.06: Geomallas biaxiales

Fuente: Empresa TDM



**Figura N° 2.07: Geomallas multiaxiales.**

Fuente: Empresa TDM.

## 2.2.2 Funciones principales

### a. Separación

Para cumplir con esta función, el geosintético debe ser resistente a los esfuerzos concentrados (tracción y punzonamiento) y tener aberturas compatibles con los tamaños de las partículas del material a ser retenido (ver Figura N° 2.08).

### b. Refuerzo

Los geosintéticos (geotextiles, geomallas y geoceldas) instalados sobre subrasantes inestables, pueden eliminar la necesidad de reemplazar estos suelos, incrementando la capacidad de carga del sistema, debido a una mejor distribución de esfuerzos (ver Figuras N° 2.09 y N° 2.10).

### c. Filtración

Para cumplir este rol, el geosintético debe tener propiedades de retención y permeabilidad adecuadas y ser resistente a la colmatación (reducción de permeabilidad debida a la acumulación de finos), ver Figuras N° 2.11.

#### d. Drenaje

En esta aplicación el geosintético debe tener una capacidad adecuada de descarga y ser resistente al daño mecánico.

Un geocompuesto de drenaje instalado en puntos relevantes en la estructura de la vía puede proveer de drenaje transversal a la vía, previniendo la acumulación de agua y de similar trabajo que un geotextil (ver Figura N° 2.12).



Figura N° 2.08: Función de separación

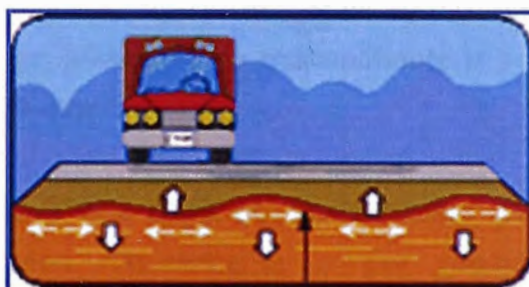


Figura N° 2.09: Función de refuerzo

Fuente: PAVCO

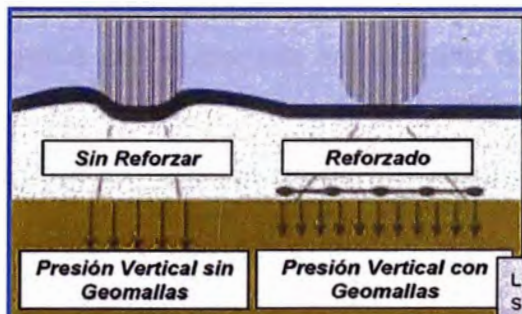


Figura N° 2.10: Función de refuerzo con geomallas

Fuente: Empresa TDM

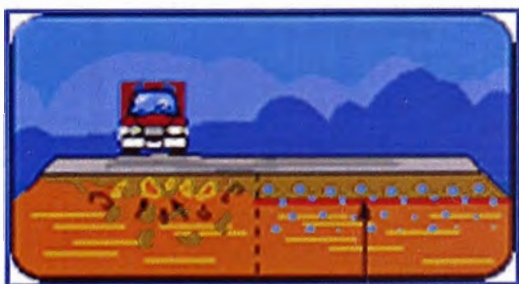


Figura N° 2.11: Función de filtración



Figura N° 2.12: Función de drenaje

Fuente: PAVCO



## CAPÍTULO III: MÉTODO DE LA GUÍA AASHTO 93 Y GENERALIDADES DE LOS GEOSINTÉTICOS

### 3.1 DISEÑO DE PAVIMENTOS

#### 3.1.1 Estructura de pavimento en carreteras de BVT

- **Con superficie de rodadura no pavimentada**
  - Caminos gravosos, constituidos por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
  - Caminos afirmados, constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25 mm.
  - Afirmados con grava con superficie estabilizada con materiales como: asfalto (imprimación reforzada), cemento, cal, aditivos químicos y otros.

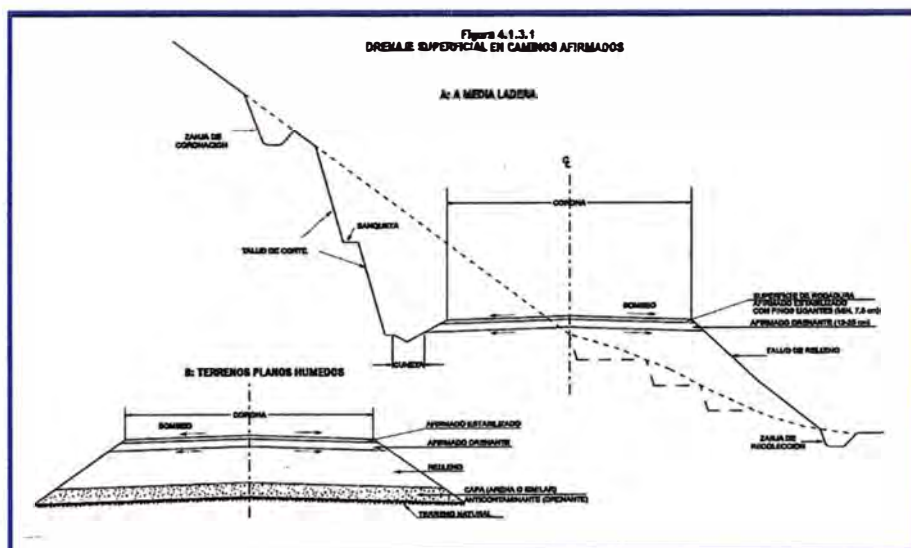


Figura N° 3.01: Sección típica de superficie de rodadura

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 – MTC

### 3.1.2 Método AASHTO 93 para carreteras de BVT

La metodología propuesta por la guía AASHTO 93 para el diseño de pavimentos de carreteras de bajo volumen de tránsito tiene el mismo procedimiento que para el diseño de pavimentos de carreteras, considerándose para el primer caso valores de confiabilidad menores, debido al bajo nivel de operación y al bajo nivel de riesgo asociado. El valor mínimo recomendado es de 50%, el cual podría tomar valores del orden de 60% a 80%, dependiendo de otros factores como la existencia de tráfico pesado, importancia de la vía, etc.

Los parámetros de diseño que se consideran son las propiedades de los materiales, tipo de tránsito, condiciones ambientales, etc.

La ecuación básica de equilibrio en el diseño para estructuras de pavimentos flexibles es la siguiente:

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

Donde:

**ESAL** : Número total de ejes equivalentes de 80 KN de peso, para el período de diseño (t = n).

**Cuadro N° 3.01: Tipo de carretera y periodo de diseño en años (t = n)**

Tipo de carretera	Periodo de análisis (años), t
Urbana de alto volumen	30 a 50
Rural de alto volumen	20 a 50
Pavimentada de bajo volumen	15 a 25
Tratada superficialmente de bajo volumen	10 a 20

Fuente: AASHTO

El MTC recomienda en sus manuales para carreteras pavimentadas y no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, periodos de diseño (n) de 5, 10 y 20 años.

**Cuadro N° 3.02: Factor de distribución por carril**

Número de carriles en una dirección	Porcentaje del ESAL en el carril de diseño, $D_L$
1	100
2	80 a 100
3	60 a 80
4	50 a 75

Fuente: AASHTO

El MTC recomienda para el caso que se tenga una calzada que presenta dos carriles y doble sentido lo siguiente:

Factor direccional = 1 y Factor carril = 0.5

**ZR** : Coeficiente estadístico asociado a la confiabilidad respecto a la predicción del tráfico.

De acuerdo al tipo de tráfico el MTC (Caminos Pavimentados) considera lo siguiente:

Para Tráfico TP1: confiabilidad 60% ( $ZR = -0.253$ )

Para Tráfico TP2: confiabilidad 70% ( $ZR = -0.524$ )

Para Tráfico TP3: confiabilidad 75% ( $ZR = -0.674$ )

Para Tráfico TP4: confiabilidad 80% ( $ZR = -0.841$ )

La confiabilidad en el diseño (R) puede ser definida como la probabilidad de que la estructura tenga un comportamiento real igual o mejor que el previsto durante la vida de diseño adoptada. AASHTO recomienda para vías rurales debajo volumen tránsito un nivel de confiabilidad en el rango de 50% - 80%.

**Cuadro N° 3.03: Valores de la desviación estándar normal (ZR), correspondientes a los niveles de Confiabilidad (R)**

Confiabilidad, R, en porcentaje	Desviación estándar normal, $Z_R$
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282

Fuente: AASHTO

**So** : Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio. Para pavimentos flexibles:  $0.40 < So < 0.50$ .

El MTC recomienda usar  $So = 0.45$ .

**SN** : Número Estructural (variable dependiente), o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

**ΔPSI** : Diferencial de serviciabilidad (serviciabilidad inicial ( $Po$ ), depende del tipo de superficie de rodadura – serviciabilidad final o terminal ( $Pt$ ))

$$\Delta PSI = Po - Pt$$

La serviciabilidad es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento. Inicialmente se cuantificó la serviciabilidad de una carretera pidiendo la opinión de los conductores, estableciendo el índice de serviciabilidad ( $P$ ) de acuerdo a la calificación siguiente:

**Cuadro N° 3.04: Valores de índice de serviciabilidad (PSI)**

Índice de Serviciabilidad, $p$	Calificación
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Fuente: AASHTO

En caminos de bajo volumen de tránsito, por la importancia relativamente baja de estos, se puede considerar los siguientes valores:

- Serviciabilidad inicial ( $Po$ )

$Po = 3.5$ , para pavimentos flexibles.

- Serviciabilidad final o terminal (Pt)

Pt = 1.8 - 2.0, para caminos de tránsito menor.

El MTC, recomienda usar Po = 4.0 y Pt = 1.5.

**MR** : Módulo de resiliencia de la subrasante.

La capacidad del suelo se mide mediante las pruebas de CBR y módulo de resiliencia, dependiendo de los equipos disponibles.

El Método AASHTO 1993 requiere el uso del Módulo de Resiliencia, el cual se obtiene de la correlación con los CBR mediante las siguientes formulas:

$M_r = 1500 * CBR \text{ (psi)}$ , para los CBR < 10%.

$M_r = 3000 * CBR^{0.65} \text{ (psi)}$ , para los CBR de 10% a 20%.

$M_r = 4326 * \ln CBR + 241 \text{ (psi)}$ , para los CBR > 20%.

### 3.1.3 Método del Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas BVT

#### a. Tráfico

Desde el punto de vista del diseño de la capa de rodadura sólo tienen interés los vehículos pesados (buses y camiones), considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 2.5 ton. La demanda o volumen de tráfico (IMDA), requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb/pulg<sup>2</sup> ó 550 KPa.

**Cuadro N° 3.05.- Criterio para el cálculo de los factores destructivos por eje equivalente**

Tipo de eje	Eje equivalente EE 8.2tn
Eje simples de rueda simples	$[P/6.6]^4$
Eje simple de rueda doble	$[P/8.16]^4$
Eje tandem de rueda doble	$[P/15.1]^4$
Eje tridem de rueda doble	$[P/22.9]^4$
P = peso por eje en toneladas	

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 - MTC.

**Cuadro N° 3.06: El tráfico proyectado al año horizonte**

CLASE	T0	T1	T2	T3
IMDA (Total vehículos ambos sentidos)	<15	16 - 50	51 - 100	101 - 200
Vehículos pesados (carril de diseño)	<6	6 - 15	16 - 28	29 - 56
N° Rep. EE (carril de diseño)	$< 2.5 \times 10^4$	$2.6 \times 10^4 - 7.8 \times 10^4$	$7.9 \times 10^4 - 1.5 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5 - 3.1 \times 10^5$

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 - MTC

## b. Suelo de Fundación

La subrasante es la capa superficial, de terreno natural. Para construcción de caminos se analizará hasta 0.45 m de espesor, y para rehabilitación los últimos 0.20 m.

Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima.

Se identificarán cinco categorías de subrasante:

**Cuadro N° 3.07: Categorías de subrasantes de acuerdo al tipo de CBR**

<b>Clasificación</b>	<b>CBR<sub>diseño</sub></b>
S <sub>0</sub> : Subrasante muy pobre	< 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante pobre	3% - 5%
S <sub>2</sub> : Subrasante regular	6 - 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante buena	11 - 19%
S <sub>4</sub> : Subrasante muy buena	> 20%

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 - MTC

Se considerarán como materiales aptos para la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y se colocará un material granular con CBR mayor a 6%; para su estabilización.

- **Mejoramiento de subrasante**

La capa de subrasante mejorada puede ser una modificación de la subrasante existente (sustitución del material inadecuado o estabilización con cemento, cal o aditivos químicos) o podrá ser una nueva capa construida sobre la subrasante existente. La alternativa a elegir será determinada de acuerdo al análisis técnico-económico comparativo.

En general, se recomienda que cuando se presenten subrasantes clasificadas como muy pobre y pobre (CBR < 6%), se proceda a eliminar el material inadecuado y a colocar un material granular de reemplazo con CBR mayor a 10% e IP menor a 10; con lo cual se permite el uso de una amplia gama de materiales naturales locales de bajo costo, que cumplan la condición. La función principal de esta capa mejorada será dar resistencia a la estructura del pavimento.

El espesor de una capa de subrasante mejorada no debe ser menor del espesor determinado mediante el método que a continuación se describe:

- Tal como se indicó el número estructural (SN), según AASHTO está dado por la siguiente ecuación:

$$SNO = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

Se añade a la ecuación SN la capa de subrasante mejorada, expresada en términos de  $a_4 \times D_4 \times m_4$ , donde:

**a<sub>4</sub>**: Coeficiente estructural de la capa de subrasante mejorada, se recomiendan los siguientes valores:

**a<sub>4</sub> = 0.024**, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR 6 – 10%.

**a<sub>4</sub> = 0.030**, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante buena con CBR 11 – 19%.

**a<sub>4</sub> = 0.037**, para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante muy buena con CBR > = 20%.

**a<sub>4</sub> = 0.035**, para mejorar la subrasante muy pobre y pobre a una subrasante regular, con la adición mínima de 3% de cal en peso de los suelos.

**D<sub>4</sub>**: Espesor de la capa de subrasante mejorada (cm).

**m<sub>4</sub>**: Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 4, según el cuadro 3.06 se determina el valor de m<sub>4</sub>.

Nueva ecuación:

$$SNr = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 + a_4 \times D_4 \times m_4 \quad \text{ó}$$

$$SNr = SNO + a_4 \times D_4 \times m_4$$

Con los valores determinados a<sub>4</sub> y m<sub>4</sub>, se puede calcular el espesor efectivo D<sub>4</sub> de la subrasante mejorada, con la siguiente expresión:

$$D_4 = (SNr - SNO) / (a_4 \times m_4)$$

**SNr** = Número estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena, según se requiera mejorar.

**SNO** = Número estructural del pavimento con subrasante muy pobre o pobre



Cuadro N° 3.08: Coeficientes de drenaje

Condición del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos de 1 %	1 – 5 %	5- 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 - MTC

### c. Cunetas

Las cunetas son pequeños canales interceptores que deben tener una sección adecuada para evacuar el agua de lluvia.

### d. Capa de afirmado

El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre.

Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados: su uso como superficie de rodadura en caminos no pavimentados o su uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante redondeada o canto rodado, dándole a la capa de afirmado resistencia y estabilidad bajo las cargas actuantes.

Para cada tipo de afirmado le corresponderá una granulometría:

**Cuadro N° 3.09: Granulometría correspondiente según tipo de afirmado**

Porcentaje que pasa del tamiz	Tráfico T0 y T1: Tipo 1 IMD<50 veh.	Tráfico T2: Tipo 2 51 - 100 veh.	Tráfico T3: Tipo 3 101 - 200 veh.
50 mm (2")	100	100	
37.5 mm (1 ½")		95 - 100	100
25 mm (1")	50 - 80	75 - 95	90 - 100
19 mm (¾")			65 - 100
12.5 mm (½")			
9.5 mm (3/8")		40 - 75	45 - 80
4.75 mm (N° 4)	20 - 50	30 - 60	30 - 65
2.36 mm (N° 8)			
2.00 mm (N° 10)		20 - 45	22 - 52
4.25 um (N° 40)		15 - 30	15 - 35
75 um (N° 200)	4 - 12	5 - 15	5 - 20
Índice de plasticidad	4 - 9	4 - 9	4 - 9

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 - MTC

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles : 50% máx. (MTC E 207)
- Límite líquido : 35% máx. (MTC E 110)
- CBR : 40% mín. (MTC E 132)

Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca (MDS) y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm).

Muy importante es el índice de plasticidad que podrá llegar hasta un máximo de 12 y no debe ser menor de 4. La razón es que la capa de rodadura en su superficie necesita un mayor porcentaje de material plástico y las arcillas naturales le darán la cohesión necesaria y por lo tanto una superficie cómoda para la conducción vehicular.

En el caso de que se tuvieran materiales con índice de plasticidad fuera del rango 4-12%, se estudiará el empleo de un tratamiento superficial, como la imprimación reforzada bituminosa, estabilización con cal, cemento, cloruros de sodio (Sal) o magnesio u otros estabilizadores químicos con la finalidad de mantener y/o prolongar la vida útil de la carretera.

Para la dosificación y mezcla del material para afirmado, se tendrá como referencia y punto de partida las gradaciones que recomienda la especificación técnica EG - CBT 2008, sección 302B.

### e. Catálogo Estructural de Superficie de Rodadura

Para el dimensionamiento de los espesores de la capa de afirmado, se adoptó como representativa la siguiente ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities (hoy AUSTROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de ejes equivalentes:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

Donde:

- e = espesor de la capa de afirmado en mm
- CBR = valor del CBR de la subrasante
- Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño

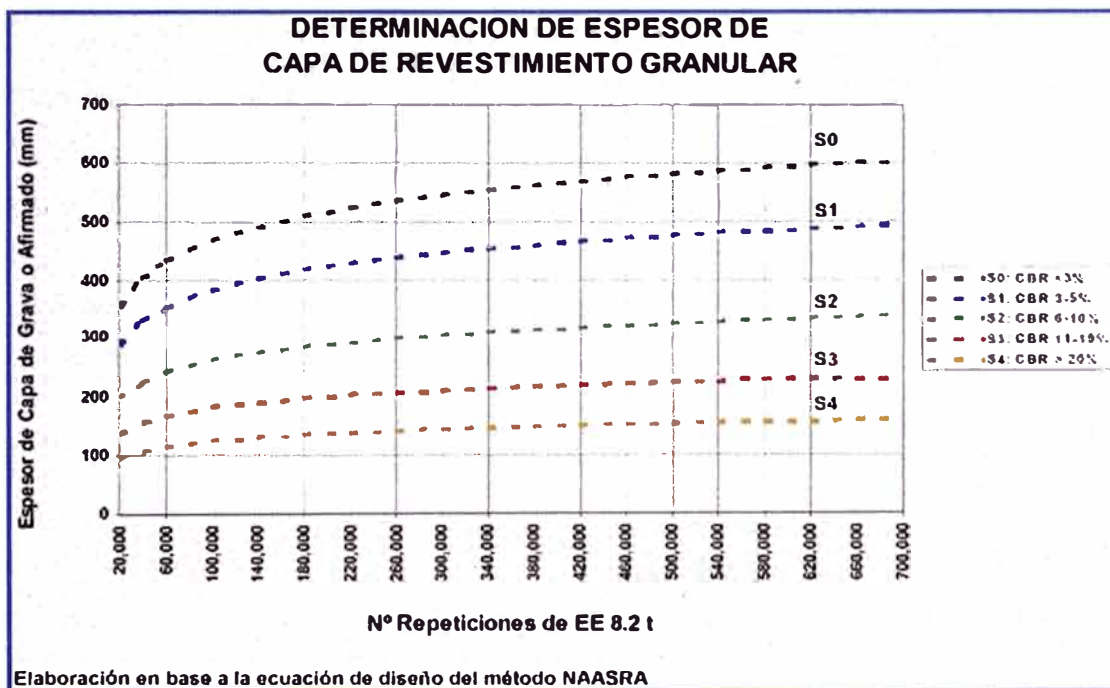


Figura N° 3.02: Determinación de espesores de capa de revestimiento granular

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 - MTC

Para caminos de muy bajo volumen de tránsito, menor a 50, se estudiarán y analizarán diferentes alternativas constructivas de capas granulares, incluyendo macadam granular, y estabilización con gravas.

En el caso de no haber disponibilidades de gravas de fácil uso a distancias económicamente razonables, se podrá recurrir a procedimientos de estabilización de los suelos naturales, analizando económicamente alternativa como: estabilización con cal, estabilización con sal, estabilización con cemento, estabilización química.

En caso que se requiriese proteger la superficie de los caminos afirmados, para retardar su deterioro por razones de erosión y pérdidas de material, debido al tránsito, y/o para evitar la presencia de polvo levantado por el tránsito que crea riesgos y deteriora el ambiente agrícola, podrá colocarse una capa protectora, que podría ser una imprimación reforzada bituminosa, o un tratamiento superficial (ver catálogo en el ANEXO 4).

#### **f. Macadam Granular**

El macadam granular es la capa obtenida por compactación de agregados gruesos, distribuidos de manera uniforme, cuyos vacíos son rellenados con material de granulometría más fina, primero en seco, y después con ayuda de agua. Se coloca sobre una cama de asiento conformada por arena y como capa superficial se coloca material de afirmado Tipo 1. La estabilidad de la capa se obtiene a partir de la acción mecánica de la compactación.

Los trabajos consisten en el suministro de materiales, carga, transporte, descarga de los materiales, agua, mano de obra y equipos adecuados para la correcta ejecución de los trabajos, para tener un control de calidad del macadam granular de acuerdo con las normas y los detalles ejecutivos de proyecto.

### **g. Tratamiento superficial con Cape Seal**

Un cape seal implica la aplicación de una lechada asfáltica (slurry seal) o de un micro-aglomerado (micro - surfacing) a un tratamiento superficial simple recientemente construido. La aplicación de la lechada asfáltica o del micro-aglomerado ayuda a llenar los vacíos entre agregados. Los Cape Seals proveen un tratamiento superficial de alta durabilidad. La lechada liga los agregados gruesos para prevenir pérdidas y los agregados gruesos impiden la excesiva abrasión del tráfico y la erosión de la lechada. Los Cape Seals se emplean a menudo debido al color del tratamiento superficial ya terminado.

### **h. Fuente de materiales y canteras**

Se deberá efectuar un estudio de canteras y fuentes de materiales para rellenos, capa de afirmado y para obras de concreto hidráulico. Para el caso de canteras que cuenten con estudios previos, se efectuarán solamente ensayos que confirmen la calidad y potencia de las mismas.

Las canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas, de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio.

## **3.2 APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS**

### **3.2.1 Características principales de geosintéticos usados en pavimentos**

- **Características principales de geotextiles**

Resistencia a la tensión: el geotextil puede absorber esfuerzos producidos en estructuras sometidas a carga.

Elongación: permite un acoplamiento en terrenos irregulares, manteniendo su resistencia bajo deformaciones iniciales.

Resistencia química: debido a su fabricación en polipropileno, los geotextiles resisten ácidos, álcalis, insectos, etc.

Resistencia a temperatura: el polipropileno es resistente a altas

temperaturas.

- Permeabilidad y capacidad de filtración: por su porometría, los geotextiles permiten el paso del agua y retienen los materiales finos.

#### **a. Características principales de las geomallas**

- Resistencia a la Tracción: dependen de la geometría y sobrecargas previstas en la estructura.
- Resistencia a largo Plazo: contempla los diferentes factores reductores debidos a la fluencia del material, ambientales y de instalación.
- Coeficiente de interacción con el suelo: adherencia efectiva de la armadura con el suelo circundante.
- Permeabilidad: capacidad de flujo de agua

### **3.2.2 Separación y estabilización de subrasantes con geotextiles**

#### **a. Separación**

La función de separación que cumple un geotextil es mantener la integridad y el buen funcionamiento de dos suelos adyacentes con propiedades y características diferentes. En el caso de las estructuras de pavimento, donde se coloca suelo granular (base, subbase, relleno) sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

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

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

bajo concentraciones de esfuerzos locales causados por irregularidades en el suelo de fundación.

- **Resistencia al estallido (Mullen Burst)**

Entre las partículas del suelo granular que se colocan sobre el geotextil existen vacíos que permiten que el geotextil se introduzca entre ellas por la acción simultánea de las cargas de tráfico que son transmitidas hasta las capas granulares, al geotextil y al suelo de subrasante. Una vez sometido a esfuerzos, el suelo trata de empujar el geotextil por los vados de la capa granular. El geotextil que se coloca en la interfaz subrasante - capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por estallido. El ensayo de resistencia al estallido (método Mullen Burst Norma ASTM D3786 - INV E-904) representa esta situación.

- **Resistencia a la tensión (GRAB)**

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

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

- **Resistencia al punzonamiento**

Además de cumplir la función de separación, el geotextil de separación debe resistir el proceso de instalación, sin que sus propiedades iniciales sufran modificaciones importantes. Así se garantiza el buen funcionamiento del geotextil durante la vida útil de la vía. Materiales punzonantes, piedras angulares, ramas de árboles, desechos de construcción y otro tipo de objetos

que se encuentren sobre el suelo (subyacente) que quede en contacto con el geotextil, pueden romperlo y desgastarlo cuando se coloque la capa granular y se apliquen las cargas de tráfico sobre la estructura .

Se debe calcular la fuerza vertical que actuara sobre el geotextil bajo estas condiciones, y verificar que el geotextil que se coloque resista el punzonamiento que se genere. El ensayo de resistencia al punzonamiento (ASTM 04833, INV E-902) simula esta condición en laboratorio y permite calcular la máxima resistencia que tiene un geotextil bajo la acción del punzonamiento.

- **Criterio de retención (TAA)**

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

- **Criterio de permeabilidad**

El coeficiente de permeabilidad “k”, se define como la propiedad hidráulica que tiene un geotextil, para permitir un adecuado paso de flujo, perpendicular a su plano.

- **Criterio de supervivencia**

El geotextil en el proceso de instalación y a lo largo de su vida útil puede estar sometido a unos esfuerzos, los cuales deben ser soportados por el mismo, de tal manera que no afecten drásticamente sus propiedades hidráulicas o físicas. Los geotextiles son materiales de polipropileno, alta mente resistentes al ataque químico y biológico. Los geotextiles se degradan con los rayos UV, por consiguiente no deben ser expuestos por largo tiempo a estos rayos.

Ver especificaciones técnicas de geosintéticos en el ANEXO 5 y representaciones gráficas en el ANEXO 6.



## **b. Refuerzo**

La función de refuerzo de los geotextiles consiste en el complemento y por ende en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo. Los geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y son un buen complemento de aquellos materiales con alta resistencia a la compresión pero con poca resistencia a la tensión, como ocurre en general con los suelos finos y granulares. Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por el peso propio del suelo, como en el caso de taludes o terraplenes sobre suelos de fundación muy blandos, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la construcción de taludes o terraplenes con mayor inclinación. Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por cargas externas, caso de las vías, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la aplicación de mayores cargas y un aumento de la vida útil de la estructura de pavimento.

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

Para el diseño por separación y refuerzo con geotextiles se hará uso del software GEOSOFT – PAVCO Versión 3.0 complementado por el Manual PAVCO de Diseño con Geosintéticos - 9na Edición en su capítulo 4: "Separación de Subrasantes con Geosintéticos en Vías" y Capítulo 5: "Estabilización de Subrasantes con Geosintéticos".

Ver especificaciones técnicas de geosintéticos en el ANEXO 5 y representaciones gráficas en el ANEXO 6.

### 3.2.3 Refuerzo de subrasantes con geomallas (biaxiales y triaxiales)

#### a. Geomallas Coextruídas Biaxiales – PAVCO

A través de múltiples investigaciones (Giroud y Noiray, 1981; Giroud et al 1985; Berg et al, 2000), se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los siguientes:

- **Confinamiento lateral de la base o subbase**

El cual se logra a través de la fricción y trabazón de la geomalla con el agregado. Esto se presenta debido a que los módulos de los materiales granulares son dependientes del estado de esfuerzos, al aumentar el confinamiento lateral, aumenta el modulo de la capa granular sobre la geomalla (ver representaciones gráficas en el ANEXO 6).

- **Mejoramiento de la capacidad portante**

Se logra desplazando la superficie de falla del sistema de la subrasante blanda hacia la capa granular que es de mayor resistencia. Este mecanismo tiende a tener mayor validez en vías sin pavimentar o cuando el estado de esfuerzos sobre la subrasante es alto (ver representaciones gráficas en el ANEXO 6).

- **Membrana tensionada**

Este efecto se origina por la propiedad de un material flexible al ser elongado, al adoptar una forma curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, lo cual se traduce en que bajo la aplicación de carga el esfuerzo vertical transmitido por la geomalla hacia la subrasante es menor que el esfuerzo vertical transmitido hacia la geomalla. Sin embargo, este mecanismo solo ocurre a niveles de deformación demasiados altos como los que ocurren en vías sin pavimentar después de un número de repeticiones de carga elevado (ver representaciones gráficas en el ANEXO 6).

## **b. Geomallas Multiaxiales Triax – Tensar Internacional**

### **Propiedades y mecanismos exclusivos relacionados con las geomallas TriAx de Tensar**

Las geomallas TriAx de Tensar fueron desarrolladas con un propósito específico: brindar un mejor desempeño y una mejor relación costo-beneficio en comparación con todas las geomallas disponibles actualmente en el mercado. En la geomalla Biaxial la rigidez es alta en los dos sentidos ortogonales, pero significativamente inferior en el medio. Por el contrario, las aperturas triangulares exclusivas de la geomalla TriAx de Tensar garantizan una rigidez de tensión alta en todos los sentidos. Según estudios sobre el tema, esfuerzos radiales significativos tienen lugar bajo el transporte vehicular de cargas en movimiento. Por lo tanto, no sorprende que la geomalla TriAx de Tensar ofrezca un rendimiento altamente superior al de la geomalla Biaxial de Tensar en pruebas comparativas de pavimento.

- **Mejoramiento de la capacidad portante: el efecto zapato de nieve**

El mejoramiento de la capacidad portante, que suele estar relacionado con el uso de una geomalla sobre subrasantes blandas en aplicaciones sin pavimento, es el resultado de un cambio en el modo de fallas críticas de la subrasante desde un corte localizado, que se caracteriza, en general, por una falla de ahuellamiento profundo, hasta una falla de capacidad portante general.

Así se logra un eficaz mejoramiento de la capacidad portante de la subrasante, como consecuencia de la disipación de la presión en la interfaz de la subrasante con la geomalla. En general, este sistema se implementa en las superficies sin pavimentar en las que se requiere una estabilización con el fin de obtener una superficie de trabajo estable. Sin embargo, también se aplica a estructuras pavimentadas, en particular, a las estructuras de pavimento flexibles reforzadas con una geomalla en la interfaz entre subrasante y agregado (ver representaciones gráficas en el ANEXO 6).

Es así que el mejoramiento de la capacidad portante, fenómeno conocido como el “efecto zapato de nieve”, es de gran importancia, ya que el soporte de la subrasante controla eficazmente la duración de la estructura del pavimento en pavimentos relativamente delgados colocados sobre suelos blandos.

- **La contención lateral es la clave de la rigidez del agregado**

Según una publicación técnica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.E. U.U., la particular estructura de las geomallas brinda un alto grado de rigidez planar mediante un mecanismo que se conoce como contención lateral.

Este tipo de contención, considerado como el principal mecanismo de refuerzo de los tres mecanismos descritos en el documento del Cuerpo de Ingenieros, se basa en la capacidad de mantener las partículas del agregado dentro del plano de la geomalla. Como las capas de base granulares se consideran materiales que dependen de la presión, el confinamiento que brindan las geomallas rígidas y bien diseñadas aumenta el módulo del material de la base. Se mantiene la rigidez de la estructura tanto arriba como abajo de la geomalla cuando se instala dentro de una capa de relleno granular. Como consecuencia, aumenta el módulo de la capa reforzada en su totalidad. Cuando la estructura del pavimento es más delgada, se produce una reducción de la tensión vertical en la parte superior de la subrasante, mientras que cuando el pavimento es más grueso, la tensión en la interfaz de agregado y asfalto se reduce significativamente. Por medio del eficaz mecanismo de confinamiento lateral exclusivo de las geomallas TriAx de Tensar, se puede optimizar el espesor del material tanto para las secciones de pavimento flexible que soportan cargas livianas como para las de cargas pesadas (ver representaciones gráficas en el ANEXO 6).

- **Reducción del espesor de los componentes**

Según investigaciones y pruebas a escala real, la geomalla TriAx puede reducir el espesor de la base o de la subbase de agregado hasta un 50%, para determinadas condiciones de tránsito (ver representaciones gráficas en el ANEXO 6).

### Metodología de Giroud & Han (2004)

En agosto del 2004 y luego de más de dos décadas de investigación y uso de geomallas en aplicaciones de mejoramiento de subrasantes, los doctores J.P. Giroud y Jie Han desarrollaron y verificaron un método de diseño, basado en la metodología Giroud and Noiray (1981), que emplea la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante producida por las cargas vehiculares. Con esta presión se calcula un espesor mínimo de relleno necesario para que la subrasante pueda soportar las cargas aplicadas. Giroud - Han tienen en cuenta todas las propiedades consideradas en el método Guiraud - Noiray, y adicionalmente considera las características del módulo de elasticidad del material de relleno, la variación del ángulo de distribución de esfuerzos con el número de pasadas de ejes equivalentes, el módulo de estabilidad de la apertura del material de refuerzo y la profundidad de amueblamiento.

Este método puede ser usado para dimensionar vías no pavimentadas y estabilización de subrasantes con y sin geosintéticos. De acuerdo con Giroud y Han (2004), es posible determinar el espesor de material granular compactado requerido para estabilizar un terreno blando, con y sin la utilización de un refuerzo con geosintéticos, teniendo en cuenta las condiciones de la subrasante.

Finalmente y basados en ensayos de campo y laboratorio se obtiene que el espesor de material granular  $h$ , es:

$$h = \frac{0.868 + C_f \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 \text{CBR}_{bc}^{0.3}}{\text{CBR}_{sg}} - 1\right)\right]} \left[ \sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{N_c f_c \text{CBR}_{sg}} - 1} \right] r$$

En particular, el término "C" fue calibrado usando el módulo de estabilidad de las aperturas de las geomallas:

$$C = (0.661 - 1.006J^2) \left( \frac{r}{h} \right)^{1.5}$$

Donde:

- h (m) = Espesor de capa granular. Se recomienda como mínimo un espesor de 0.15m.
- J (N-m/grados) = Módulo de estabilidad de la abertura del refuerzo o módulo de rigidez torsional del geosintético.
- P (KN o KIPS) = Carga por eje
- r (m) = Radio del área de contacto de llanta
- p (kPa o PSI) = Presión de inflado de llanta
- N = Número de pasadas de ejes equivalentes.
- CBRbc = CBR del relleno.
- CBRsg = CBR de la subrasante.
- Nc = Factor de Capacidad de soporte del suelo de fundación:  
 En vías no reforzadas = 3.14, en vías reforzadas con geotextiles = 5.14 y en vías reforzadas con geomallas = 5.71.
- fs = Factor de profundidad de ahuellamiento. Factor igual a 75 mm.
- s = Máxima profundidad de ahuellamiento.  
 Ahuellamiento permitido, es un criterio de serviciabilidad que generalmente se encuentra entre 25 - 100 mm. Un criterio de falla de 75 mm se ha usado ampliamente para esta aplicación. Para bajos volúmenes de tráfico (AASHTO 1993) considera ahuellamientos permitidos entre 13-75mm.
- Fc = Factor relacionado al CBR de la subrasante en condiciones no drenadas,  $cu = 4.3 \text{ psi (30kPa)}$ .

Para aplicar y verificar la ecuación de Giroud – Han se emplearán los siguientes softwares:

- El software GEOSOFT - PAVCO Versión 3.0, software de libre disposición en la web y de propiedad de PAVCO. complementado por el Manual PAVCO de Diseño con Geosintéticos - 9na Edición en su Capítulo 5: “Estabilización de Subrasantes con Geosintéticos”.

El software SPECTRA PAVE PRO Versión 4.6, software de libre disposición en la web y de propiedad de Tensar International. Para el uso del software se asistió a una capacitación organizada por la empresa TDM y complementado con el uso de artículos de apoyo de propiedad de TDM y de Tensar Internacional.

Ver especificaciones técnicas de geosintéticos en el ANEXO 5 y representaciones gráficas en el ANEXO 6.

## **CAPÍTULO IV: APLICACIÓN A LA VARIANTE COPORAQUE (2.2 Km)**

### **4.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La zona del proyecto se encuentra en el Tramo II del camino de acceso a Las Bambas ubicada en la región Cusco, provincia de Espinar y pertenece a la red vial local, iniciándose en el km. 143+940 a la altura del abra cerro Collpapata y finaliza el trazo en el km 188+575.076 en el sector Coporaque.

La Variante Coporaque se encuentra ubicada desde en el Km 173+800 hasta el Km 176+000 del Tramo II del camino de acceso desde Las Bambas hasta Antapacay (ver información de diseño vial en el ANEXO 1).

### **4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Para el diseño del pavimento se ha efectuado previamente la recopilación de información de los estudios básicos desarrollados durante la elaboración del expediente técnico de “Ingeniería de Detalles y Estudios Geotécnicos e Hidrológicos para el Camino de Acceso Las Bambas – Antapaccay”, entre los cuales se tienen:

Recopilación del estudio de tráfico.

Recopilación del estudio de suelos y canteras.

#### **4.2.1 Estudio de tráfico**

En base a la ubicación de la Variante Coporaque, sobre un camino nuevo del Tramo II del camino de servicio del mineroducto y alejado de la Ruta Nacional PE-3SG, se va a considerar, dos tipos de tráfico:

Tráfico normal correspondiente al camino vecinal del Tramo II del camino de servicio del mineroducto.

Tráfico derivado de la construcción de la planta (minero) correspondiente al tránsito del heavy haul road.



**a. Proyección de tráfico normal + tráfico derivado de la construcción de la planta (minero)**

Para efectuar la proyección del tráfico se va a utilizar las tasas de crecimiento del estudio de tráfico del expediente técnico de "Ingeniería de Detalles y Estudios Geotécnicos e Hidrológicos para el Camino de Acceso Las Bambas – Antapaccay".

**Cuadro N°4.01: Tasa De Crecimiento del Tráfico por Tipo de Vehículo.**

ESTACIÓN YAURI	
TIPOS DE VEHÍCULOS	TASA DE CRECIMIENTO (%)
AUTOS	1.00
CAMIONETA	1.02
MICRO	1.02
OMNIBUS	1.04
CAMIONES	5.51
CAMIÓN RURAL	1.00

Fuente: Proyecto: "Las Bambas".

**Cuadro N°4.02: Resumen de tráfico proyectado.**

IMD (Veh./día)	TRÁFICO PROYECTADO
IMDA 2011 (Año Cero)	75 Veh./día
IMDA 2013 (Año 2 = Inicio de Proyecto)	83 Veh./día
IMDA 2015 (Año 5 = Año 1 de funcionamiento )	93 Veh./día
IMDA 2020 (Año 10 = Año 5 de funcionamiento)	121 Veh./día

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

**b. Número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes**

Asimismo, se ha determinado el número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes considerando los factores destructivos correspondientes, cuyo resumen se presenta a continuación:

**Cuadro N°4.03: Factores de carga.**

TIPO DE VEHICULO	EJE SIMPLE 2 NEUMATICOS	EJE SIMPLE 4 NEUMATICOS	EJE TANDEM	EJE TRIDEM	TOTAL
Bus 2E	1.2654	3.2383	0	0	4.5037
Bus 3E	1.2654	0	2.0192	0	3.2846
Camión 2 Ejes (C 2E)	1.2654	3.2383	0	0	4.5037
Camión 3 Ejes (C 3E)	1.2654	0	2.0192	0	3.2846
Camión 3 Ejes (C 4E)	1.2654	0	0	1.0176	2.2829
Semi-Trayler (2S1)	1.2654	6.4766	0	0	7.7419
Semi-Trayler (2S2)	1.2654	3.2383	2.0192	0	6.5229
Semi-Trayler (2S3)	1.2654	3.2383	0	1.4204	5.9241
Semi-Trayler (3S2)	1.2654	0	4.0384	0	5.3038
Semi-Trayler (>=3S3)	1.2654	0	2.0192	1.4204	4.7050
Trayler (2T2 ó C2R2)	1.2654	9.7149	0	0	10.9802
Trayler (2T3 ó C2R3)	1.2654	6.4766	2.0192	0	9.7611
Trayler (3T2 ó C3R2)	1.2654	6.4766	2.0192	0	9.7611
Trayler (3T3 ó C3R3)	1.2654	3.2383	4.0384	0	8.5421

Fuente: Proyecto: "Las Bambas".

Con los insumos detallados y la expresión de "N", se ha realizado la estimación del tráfico de diseño. El cuadro de actualización y proyección de tráfico, presenta el cálculo para el tráfico esperado de cada estación (ver información de cálculos en el ANEXO 2).

**Cuadro N°4.04: Resumen de número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes.**

ESAL (EE)	NÚMERO ACUMULADO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES
ESAL 2011 (Año 0)	22 900
ESAL 2013 (Año 2 = Inicio de Proyecto)	72 600
ESAL 2015 (Año 4 = Año 1 de funcionamiento)	128 000
ESAL 2020 (Año 9 = Año 5 de funcionamiento)	295 000

Fuente: Proyecto: "Las Bambas".

#### 4.2.2 Estudio de suelos y canteras

Del análisis de la recopilación de información recabada, se empleó la información del estudio de suelos y canteras de la Variante Coporaque, del cual se obtuvo la siguiente información:

##### a. Zonificación geotécnica con fines de diseño de pavimento

Según el estudio de suelos mencionado, a lo largo de la Variante Coporaque, se determinó la zonificación geotécnica de los suelos de subrasante, cuyo resumen se presenta a continuación:

**Cuadro N° 4.05: Zonificación geotécnica con fines de diseño de pavimento.**

N°	PROGRESIVA (KM)		CLASIFICACIÓN			CBR (95% MDS 0,2")
	INICIAL	FINAL	SUCS	PROF. (*) (M)	TIPO DE SUELO	
1	173+800	174+145	CL	0,70 - 1,10	Tufo volcánico	3,50 % y 1,60 %
				1,10 - 1,90	arcilla	
2	174+145	174+460	GC	0,70 - 0,90	Gravas limo arcillosas	20,0 %
				0,90 - 1,50	Grava arcillosa	
3	174+460	174+880	CL	0,00 - 0,70	Arena limosa	1,60 %
			MH	0,70 - 1,00	Tufo volcánico (limo de alta plasticidad)	
4	174+880	175+250	GP-GC	0,30 - 1,00	Grava arcillosa	2,00 %
			MH	1,00 1,50	Limo de alta plasticidad blanda	
5	175+250	175+593	GP	0,00 - 1,50	Grava mal grada	20,0 %
6	175+616	176+140	SM	0,10 - 1,50	Tufo volcánico (Arena limosa)	21,5 %

Fuente: Proyecto: "Las Bambas".

(\*) Profundidad con respecto a la cota actual del terreno.

Ver información de suelos y canteras en el ANEXO 3.

### 4.3 DISEÑO DE PAVIMENTOS

#### 4.3.1 Características técnicas de los materiales granulares

- **Características técnicas del afirmado**

De acuerdo a lo establecido en la especificación técnica del afirmado (EG – CBT- 2008, Sección 302B), se tiene las consideraciones siguientes:

- Afirmado tipo 3: Corresponde a un material granular natural o grava seleccionada por zarandeo o por chancado, con un índice de plasticidad hasta 9. Excepcionalmente se podrá incrementar la plasticidad hasta 12, previa justificación técnica. Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito, clase T3, con IMD proyectado entre 101 y 200 vehículos día (ver Cuadro N° 3.09). Además se tiene características adicionales en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 4.06: Características técnicas del afirmado.**

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AFIRMADO	
• Desgaste Los Ángeles:	50% máx. (MTC E 207)
• Límite líquido	: 35% máx. (MTC E 110)
• CBR	: 40% mín. (MTC E 132)

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 - MTC

Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca (MDS) y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm).

#### 4.3.2 Parámetros de diseño

##### a. Periodo de diseño

Teniendo en cuenta que se trata de una estructura de vía no pavimentada de afirmado y a fin de garantizar su comportamiento como un camino de bajo volumen de tránsito acorde según los estudios de tráfico, se adoptará un periodo de diseño de 5 años (considerando un mayor énfasis al mantenimiento rutinario y periódico).

### b. Tráfico

El número acumulado de cargas de eje equivalente de diseño (8.2 ton.) que circula por las vías de acceso durante la vida útil prevista, se ha determinado en base a la información de tráfico correspondiente al estudio de tráfico de la "Ingeniería de Detalles y Estudios Geotécnicos e Hidrológicos para el Camino de Acceso Las Bambas - Antapaccay".

Asimismo, el Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, establece que desde el punto de vista del diseño de la capa de rodadura sólo tienen interés los vehículos pesados (buses y camiones), considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 2.5 ton. El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior (motocicletas, automóviles y camionetas) provocan un efecto mínimo sobre la capa de rodadura, por lo que no se tienen en cuenta en su cálculo.

En resumen se tiene el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 4.07: Resumen de número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes (periodo de 5 años).**

PERIODO	NÚMERO ACUMULADO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES
ESAL 2020 (Año 5)	295 000 <> $2.95 \times 10^5$

Fuente: Proyecto: "Las Bambas".

Ver información de cálculos en el ANEXO 2.

### c. Condiciones de subrasante

Según el estudio de suelos y canteras de la Variante Coporaque, a lo largo del trazo, se determinó la zonificación geotécnica de los suelos de subrasante, cuyo resumen se presenta en el Cuadro N°4.05.

- **Criterios de mejoramiento de suelos de subrasante para CBR < 6%, desde el punto de vista de la especialidad de pavimentos.**

Se consideran materiales aptos para la conformación de la subrasante, suelos con CBR igual o mayor de 6%. Caso contrario, se recomienda realizar trabajos

de mejoramiento de subrasante, el cual se logra eliminar dicha capa de material inadecuado y colocando material granular con CBR mayor a 6%.

Al respecto, de la zonificación geotécnica efectuada por el estudio de suelos y canteras de la Variante Coporaque, se logró identificar tres (03) sectores donde se presentan baja capacidad de soporte, que se presentan en el Cuadro N° 4.08, para sectores con CBR < 6.

**Cuadro N° 4.08: Sectores con CBR < 6%**

N°	PROGRESIVA (KM)		CLASIFICACIÓN			CBR (95% MDS 0,2")
	INICIAL	FINAL	SUCS	PROF. (*) (M)	TIPO DE SUELO	
A	173+800	174+145	CL	0,70 - 1,10	Tufo volcánico	3,50 % y 1,60 %
				1,10 -1,90	Arcilla	
B	174+460	174+880	CL	0,00 – 0,70	Arena limosa	1,60 %
			MH	0,70 – 1,00	Tufo volcánico (limo de alta plasticidad)	
C	174+880	175+250	GP-GC	0,30 – 1,00	Grava arcillosa	2,00 %
			MH	1,00 1,50	Limo de alta plasticidad blanda	

Fuente: Proyecto: "Las Bambas".

(\*) Profundidad con respecto a la cota actual del terreno.

#### 4.3.3 Refuerzo de subrasantes usando la metodología AASHTO 93

- **Determinación de la altura de mejoramiento para los sectores con CBR < 6 %**

La determinación de la altura de mejoramiento para los sectores con CBR bajos, se hará de acuerdo a lo indicado en el Manual de Diseño de Carreteras Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, el cual emplea la siguiente fórmula:

$$D4 = \frac{(SNr - SN0)}{(a4 \times m4)}$$

Siendo:

D4 = Espesor efectivo de la sub-rasante mejorada en pulg.

SNr = Número Estructural requerido del pavimento con sub-rasante muy pobre a pobre.

SN0 = Número Estructural requerido del pavimento con sub-rasante regular, buena o muy buena.

a4 = Coeficiente estructural de capa de la subrasante mejorada.

m4 = Coeficiente de drenaje de capa de la subrasante mejorada.

Con este criterio se procederá a realizar un trabajo de mejoramiento, con la siguiente metodología y utilizándose el ESAL más alto que se estableció en el estudio de tráfico, el cual es 295 000  $\leftrightarrow$   $2.95 \times 10^5$ .

Los datos de ingreso considerados para la presente solución, y a la vez para el diseño del pavimento, son los siguientes:

- Caminos no pavimentados de BVT
- Peso máximo por Eje : 18 Kip  $\leftrightarrow$  8.2 ton  $\leftrightarrow$  80KN
- ESAL`s : 295 000  $\leftrightarrow$   $2.95 \times 10^5$
- Error Estándar (S0) : 0.45
- Índice de serviciabilidad inicial (Po) : 4.00
- Índice de serviciabilidad final (Pt) : 1.50
- Confiabilidad (R) : 70%
- Coeficiente Zr : -0.524
- Coeficiente estructural (a4) : 0.024/cm
- Coeficiente de drenaje (m4) : 1
- CBR (%) : 2.55, 1.60 y 2.00
- Módulo Resiliente (psi) : 3 825, 2400 y 300
- Periodo de Diseño : 5 años

En el Cuadro N° 4.09, se muestran los sectores donde se ha determinado los espesores de mejoramiento de subrasante:

**Cuadro N° 4.09: Cálculo de espesores de mejoramiento de subrasante empleando material adicionado en sectores criticos (CBR<6%)**

PARÁMETROS	SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C
	L=345m	L=420m	L=370m
Progresivas (Km)	173+800 – 174+145	174+460 – 174+880	174+880 – 175+250
Ejes Equivalentes Acumulados (ESAL)	295 000	295 000	295 000
Periodo de diseño	5 años	5 años	5 años
Tipo de subrasante	Muy Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre
CBR de subrasante inadecuada	1,60 % - 3,50 % Prom.=2.55 %	1,60 %	2,00 %
Módulo Resiliente(psi) (Mr = 1500*CBR)	3 825	2 400	3 000
<b>MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE</b>			
Mejoramiento Granular	20pulg<>50.0cm	29pulg<>72.50cm	25pulg<>62.5cm
Espesor Adoptado (cm)	<b>50.00</b>	<b>75.00</b>	<b>65.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de espesores de mejoramiento que se presenta en el Cuadro N° 4.09, determinó valores desde 0.50 m hasta 0.75 m para los sectores con CBR bajos (ver el procedimiento de cálculo en el ANEXO 7).

- **Cálculo del CBR compuesto de la subrasante**

En el tramo de la Variante Coporaque, se registra en su mayoría suelos granulares, de buena capacidad de soporte, a excepción de los sectores indicados en el Cuadro N°4.08, en donde se requiere trabajos de mejoramientos de sub rasante.

Con los datos de topografía (cota de rasante y cota de terreno natural), los resultados de laboratorio (ver el procedimiento de cálculo en el ANEXO 8) y los espesores de mejoramiento establecidos, se calculará el CBR de diseño para la Variante Coporaque.

Por otro lado para el caso en que se tenga varias capas en la subrasante, el cálculo del CBR compuesto será mediante la siguiente expresión, establecida por AASHTO (consideraciones tomadas en el Proyecto: "Las Bambas").



$$Mr_{comp} = \frac{Mr_1 \times d_1^3 + Mr_2 \times d_2^3}{d_1^3 + d_2^3}$$

Donde:

$Mr_{comp}$  : Módulo Resiliente de subrasante mejorado

$Mr_i$  : Módulo Resiliente del estrato i.

$d_i$  : Espesor del estrato i, comprendido entre la profundidad de influencia de 1.50 m.

Es importante mencionar, que los estratos a considerar en el análisis, serán aquellas que se encuentren por debajo de 1.50 m. de profundidad a partir de la subrasante. En consecuencia a lo mencionado, se procedió a calcular el CBR compuesto de la subrasante (ver el procedimiento de cálculo en el ANEXO 8).

- **Determinación del Valor de Soporte Representativo del Terreno de Fundación (CBR de Diseño)**

De acuerdo a lo establecido en el Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, aprobada mediante Resolución Ministerial N°240-2008-MTC/02, de fecha 12 de Marzo del 2008, el valor del CBR de diseño por sector homogéneo, se determinará según lo siguiente:

Cuando existan 6 o más valores de CBR por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos determinar el valor de CBR de diseño en base al percentil.

- Si el sector homogéneo presenta para el período de diseño un número de repeticiones de EE 8.2 ton., menor de  $1 \times 10^5$ , el CBR de diseño será aquel que represente al percentil 60% de los valores de CBR.
- Si el sector homogéneo presenta un número de repeticiones de EE 8.2 ton., entre  $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^6$ : el CBR de diseño será aquel que represente al percentil 75% de los valores de CBR.

Cuadro N°4.10: Valor de diseño del percentil

NIVEL DE TRÁFICO (ESAL)	PERCENTIL DE DISEÑO (%)
Menor a $10^5$	60
Entre $10^5$ y $10^6$	75

Fuente: Elaboración propia.

Cuando existan menos de 6 valores de CBR por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, considerar lo siguiente:

- Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
- Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (más bajo).

En vista que el tráfico proyectado para un periodo de diseño,  $n \geq 05$  año, se encuentra dentro del rango, entre  $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^6$ , y teniendo en cuenta que se cuentan con menos de seis (06) valores de CBR, entonces se calculará el CBR de diseño tomando al 75% del percentil.

Cuadro N°4.11: Analisis del valor soporte (CBR)

TRAMO	CALICATA	PROGRESIVA ( Km )	CLASIFICACIÓN SUCS	CBR Compuesto	P <sub>75%</sub>
VARIANTE COPORAQUE KM 173+800 – KM 176+000	VC-T120	173+900	CL	7.06 (*)	14.65%
	VC-C120	174+000	CL	29.75 (*)	
	VC-C121A	174+250	GC	28.89	
	VC-C122	174+460	ML y GP-GM	11.20	
	VC-C122A	174+760	SM	18.99 (*)	
	VC-C123A	175+000	TERRAPLEN	30.75(*)	
	VC-C125	175+220	ML	30.86(*)	
	VC-C126	175+450	TERRAPLEN	30.00	
	175+593	175+616	CRUCE "HUATANAY"		
	VC-C127	175+990	SM	21.93	

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

(\*) Sectores donde se efectuó mejoramiento de suelos de subrasante empleando material granular con CBR mayor a 20% (ver procedimiento de cálculo en el ANEXO 8). En resumen se tiene el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 4.12: Resumen de valor soporte (CBR) de diseño**

TRAMO	CBR DE DISEÑO (%)
VARIANTE COPORAQUE	14.65

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de espesores de afirmado**

Para la determinación de los espesores de afirmado de las capas que conforman la estructura del pavimento se ha empleado metodología NAASRA que considera principalmente los parámetros de relación soporte (CBR) y el número de repeticiones.

Se tiene los parámetros de entrada siguientes:

- Transito proyectado : 295 000 <>  $2.95 \times 10^5$
- Tipo de Transito : T3 ( $1.6 \times 10^5 - 3.1 \times 10^5$ )
- Subrasante : CBR = 14.65% correspondiente al 95% de MDS al 75% Percentil.
- Tipo Subrasante : S3, Sub-rasante Buena ( $11 < \text{CBR} < 19\%$ )

Reemplazando valores en la Fórmula:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

Se obtiene:

$$e = 175.772 \text{ mm}$$

Para los datos recopilados el espesor mínimo obtenido es  $e = 17.58 \text{ cm}$ , que redondeado, se recomienda usar un espesor de  $e = 20 \text{ cm}$ .

Cuadro N° 4.13: Tabla de espesores de afirmado calculado

DESCRIPCIÓN	ESPEORES
ESPESOR DEL AFIRMADO (CALCULADO)	17.58 cm
ESPESOR DEL AFIRMADO (SEGÚN CATÁLOGO)	21.00 cm
ESPESOR DEL AFIRMADO RECOMENDADO (*)	20.00 cm <math>\leftrightarrow</math> 0.20 m

Fuente: Elaboración propia.

(\*) Afirmado Tipo 3.

Cuadro N° 4.14: Estructura de pavimentos recomendada

PARÁMETROS	SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C
	L=345m	L=420m	L=370m
Progresivas (Km)	173+800 – 174+145	174+460 – 174+880	174+880 – 175+250
Número de Repeticiones de EE	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>
Periodo de diseño (años)	5	5	5
Tipo de Subrasante	Muy Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre
CBR Subrasante Inadecuada	1,60 % - 3,50 % Prom.=2.55 %	1,60 %	2,00 %
Módulo Resiliente (psi) (Mr = 1500*CBR)	3 825	2 400	3 000
<b>MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE – MÉTODO AASHTO 93</b>			
SN SUBRASANTE INADECUADA	3.06	3.57	3.32
SN SUBRASANTE REGULAR	1.88	1.88	1.88
Diferencial SN Requerido	1.18	1.69	1.44
Coefficiente estructural granular	0.024/cm	0.024/cm	0.024/cm
Mejoramiento granular (cm)	50	72.5	62.5
<b>Espesor adoptado (cm)</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>65</b>
<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA</b>			
Superficie de Rodadura (cm)	20	20	20
Reemplazo de Material CBR >=10%	50	75	65

Total (cm)	70	95	85
------------	----	----	----

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.4 Características técnicas de los materiales geosintéticos

Consiste en evaluar la función principal para la cual se especifica el geosintético (separación, refuerzo, drenaje, filtración o protección) y basándose en ello, calcular los valores numéricos de la propiedad requerida. De esta forma se realiza una elección del geosintético atendiendo aspectos cualitativos y cuantitativos. En algunos casos se requieren cumplir varias funciones alternativamente, por lo tanto, la selección del geosintético a emplear será más segura si este puede desarrollar las funciones simultáneamente.

Haciendo uso del método por función, se procederá a identificar la función primaria del geosintético que se va a utilizar. Para dicho fin, en el ANEXO 5 se tienen las especificaciones técnicas de los principales geosintéticos a ser utilizados en el diseño de pavimentos.

#### 4.3.5 Refuerzo de subrasantes usando geosintéticos

Con relación al planteamiento de solución en sectores donde se presentan suelos de subrasante con  $CBR < 6\%$ , y a fin de lograr menores costos de inversión, y desde el punto de vista de la especialidad de pavimentos, se ha planteado una alternativa de solución para el tratamiento que consiste en disminuir el espesor total del material de Mejoramiento (mayor a 1.00m hasta 1.50m) como material de reemplazo, mediante el uso de geosintéticos como es el caso del sistema de geotextiles, geomallas biaxiales (PAVCO y Tensar Internacional) y triaxiales (patentado por Tensar Internacional).

La alternativa propuesta considera un mejor comportamiento, bajo las condiciones indicadas de tránsito, tipo de suelo, y la zona del proyecto donde se realizará la construcción del camino de acceso.

Los datos de ingreso considerados para el análisis de la presente solución, y a la vez para el diseño del pavimento con uso de geosintéticos, son los siguientes:

- Caminos no pavimentados
- Peso máximo por Eje : 18 Kip <> 8.2 ton<>80KN
- Presión de inflado de neumático : 80 lb/pulg<sup>2</sup> <> 550 KPa
- ESAL`s : 295 000 <> 2.95 x 10<sup>5</sup>
- Ahuellamiento permitido : 13 - 75 mm
- CBR de material granular : CBR >= 10%
- CBR de subrasante (\*) : CBR <= 1%
- Tamaño máximo de material granular : 2"

(\*) Para la obtención del CBR de diseño de la subrasante; se ha relacionado con los ensayos de campo (PDC) y de laboratorio (CBR) realizado en la zona a tratar, escogiendo de ellos el valor más conservador y adecuado para los requerimientos de diseño.

**Cuadro N° 4.15: Cálculo de espesores de mejoramiento de subrasante empleando material adicionado con geosintéticos en sectores críticos (CBR<6%)**

PARÁMETROS	SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C
	L=345m	L=420m	L=370m
Progresivas (Km)	173+800 – 174+145	174+460 – 174+880	174+880 – 175+250
Número de Repeticiones de EE	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>
Periodo de diseño (años)	5	5	5
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE – GEOSINTÉTICOS			
Presión de inflado de neumático (kPa)	550	550	550
Carga por eje (Kn)	80	80	80
CBR Material Granular (%)	10	10	10
CBR Subrasante (%)	1	1	1
Mejoramiento granular (cm)	48 - 59	48 - 59	48 - 59
<b>Espesor adoptado (cm)</b>	<b>50 - 60</b>	<b>50 - 60</b>	<b>50 - 60</b>

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de espesores de mejoramiento que se presenta en el Cuadro N° 4.15, determinó valores desde 0.50 m hasta 0.60 m para los

sectores con CBR bajos. Ver procedimiento de cálculo en el ANEXO 9 y estructuras de pavimentos en el ANEXO 10.

- **Cálculo del CBR compuesto de la subrasante**

El cálculo del CBR compuesto de la subrasante se realizará de manera similar que para el Método AAHTO 93.

Es importante mencionar, que los estratos a considerar en el análisis, serán aquellas que se encuentren por debajo de 1.50 m. de profundidad a partir de la subrasante. En consecuencia a lo mencionado, se procedió a calcular el CBR compuesto de la subrasante, el cual se muestra en un cuadro en el ANEXO 8.

- **Determinación del Valor de Soporte Representativo del Terreno de Fundación (CBR de Diseño)**

El cálculo del CBR de diseño de la subrasante se realizará de manera similar que para el Método AAHTO 93.

En vista que el tráfico proyectado para un periodo de diseño  $\geq 05$  año, se encuentra dentro del rango, entre  $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^6$ , y teniendo en cuenta que se cuentan con menos de seis (06) valores de CBR, entonces se calculará el CBR de diseño tomando al 75% del percentil.

**Cuadro N°4.16: Analisis del valor soporte (CBR)**

TRAMO	CALICATA	PROGRESIVA ( KM )	CLASIFICACION SUCS	CBR – 0.2” (95% de MDS)	P <sub>75%</sub>
VARIANTE COPORAQUE KM 173+800 – KM 176+000	VC-T120	173+900	CL	7.06 (*)	12.43%
	VC-C120	174+000	CL	29.75 (*)	
	VC-C121A	174+250	GC	28.89	
	VC-C122	174+460	ML y GP-GM	11.20	
	VC-C122A	174+760	SM	9.43 (*)	
	VC-C123A	175+000	TERRAPLEN	30.36(*)	
	VC-C125	175+220	ML	30.41(*)	
	VC-C126	175+450	TERRAPLEN	30.00	
	175+593	175+616	CRUCE “HUATANAY”		
	VC-C127	175+990	SM	21.93	

Fuente: Proyecto: “Las Bambas”

(\*) Sectores donde se efectuó mejoramiento de suelos de subrasante empleando material granular con CBR mayor a 20% (ver el procedimiento de cálculo en el ANEXO 8).

En resumen se tiene el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 4.17: Resumen de valor soporte (CBR) de diseño**

TRAMO	CBR DE DISEÑO (%)
VARIANTE COPORAQUE	12.43

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de espesores de afirmado**

Para la determinación de los espesores de afirmado de las capas que conforman la estructura del pavimento se ha empleado la Metodología NAASRA que considera principalmente los parámetros de relación soporte (CBR) y el número de repeticiones.

Se tiene los parámetros de entrada siguientes:

- Transito proyectado : 295 000 <>  $2.95 \times 10^5$
- Tipo de Transito : T3 ( $1.6 \times 10^5 - 3.1 \times 10^5$ )
- Subrasante : CBR = 12.43% correspondiente al 95% de MDS al 75% Percentil.



- Tipo Subrasante : S3, Sub-rasante Buena (11 < CBR < 19%)

Reemplazando valores en la Fórmula:

$$e = [219 - 211 \times (\log_{10} \text{CBR}) + 58 \times (\log_{10} \text{CBR})^2] \times \log_{10} \times (\text{Nrep}/120)$$

Se obtiene:

$$e = 195.107 \text{ mm}$$

Para los datos recopilados el espesor mínimo obtenido es  $e = 19.51 \text{ cm}$ , que redondeado, se recomienda usar un espesor de  $e = 20 \text{ cm}$ .

**Cuadro N° 4.18: Tabla de espesores de afirmado calculado**

DESCRIPCIÓN	ESPEORES
ESPESOR DEL AFIRMADO (CALCULADO)	19.51 cm
ESPESOR DEL AFIRMADO (SEGÚN CATÁLOGO)	21.00 cm
ESPESOR DEL AFIRMADO RECOMENDADO (*)	20.00 cm <> 0.20 m

Fuente: Elaboración propia.

(\*) Afirmado Tipo 3.

**Cuadro N° 4.19: Estructura de pavimento recomendada**

PARÁMETROS	SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C
	L=345m	L=420m	L=370m
Progresivas (Km)	173+800 – 174+145	174+460 – 174+880	174+880 – 175+250
Número de Repeticiones de EE	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>
Periodo de diseño (años)	5	5	5
Tipo de Subrasante	Muy Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre
CBR Subrasante Inadecuada	1,60 % - 3,50 % Prom.=2.55 %	1,60 %	2,00 %
Módulo Resilente (psi) (Mr = 1500*CBR)	3 825	2 400	3 000
<b>MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE – GEOSINTÉTICOS</b>			
Presión de inflado de neumático (kPa)	550	550	550
Carga por eje (Kn)	80	80	80
CBR Material Granular (%)	10	10	10
CBR Subrasante (%)	1	1	1
Mejoramiento granular (cm)	48 - 59	48 - 59	48 - 59
<b>Espesor adoptado (cm)</b>	<b>50 - 60</b>	<b>50 - 60</b>	<b>50 - 60</b>
<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA</b>			
Superficie de Rodadura (cm)	20	20	20
Reemplazo de Material CBR >=10%	50	50	50
<b>Total (cm)</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
Geomalla Triaxial TX160 (TENSAR INTERNATIONAL)	Refuerzo de la capa de rodadura, colocado antes de la descarga del material de afirmado sobre capa de material de relleno o material de refuerzo de subrasante de suelo blando.		
Geomalla P-BX12 (PAVCO)	Refuerzo o mejoramiento de subrasante de suelo blando, colocado sobre el geotextil.		
Geotextil No Tejido NT 2500 (PAVCO)	Separación en la interfaz subrasante – capa granular de mejoramiento, y capas de relleno.		

Fuente: Elaboración propia.

Ver el procedimiento de cálculo en el ANEXO 9 y las estructuras del pavimento en el ANEXO 10.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

1. Para el diseño del pavimento de la Variante Coporaque se ha analizado con el método tradicional AASHTO 93 y las metodologías usando geosintéticos como PAVCO (Software Geosoft y manual) y Tensar International (Software Spectra pave y publicaciones). Se compararon ambas metodologías porque basaban sus cálculos en el soporte del suelo, tránsito de cargas con ejes equivalentes y se verificaba que para una estructura de pavimento sin refuerzo los cálculos de espesores de capa de mejoramiento eran iguales.
2. El diseño del pavimento de la Variante Coporaque haciendo uso de geosintéticos permite optimizar recursos materiales, realizar menor cantidad de volúmenes de cortes en el terreno para llegar al terreno de fundación y obtener un pavimento mucho más resistente. Se ha podido rescatar estos beneficios, gracias al análisis comparativo con el método tradicional AASHTO 93 y sustentado por la norma peruana del Manual de Diseño de Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito del año 2008 (actualizado en el año 2013 por el MTC como Manual de Suelos y Pavimentos).
3. Teniendo en cuenta que la estructura estará conformada por un pavimento de afirmado y a fin de garantizar su comportamiento como un CBVT acorde al estudio de tráfico, se adoptó un periodo de diseño de 5 años, considerando un mayor énfasis al mantenimiento rutinario y periódico.
4. De acuerdo al estudio de tráfico del presente estudio y para un periodo de diseño de 5 años se ha obtenido un IMDA = 121 veh./día y ejes equivalentes acumulados que nos servirán para determinar los espesores de la estructura del pavimento a proyectar, siendo estos presentados a continuación:

**Cuadro N°4.04: Resumen de tráfico proyectado y número acumulado de repeticiones de ejes equivalentes.**

ESAL (EE)	TRÁFICO PROYECTADO (NÚMERO DE VEHÍCULOS)	NÚMERO ACUMULADO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES
ESAL 2011 (Año 0)	75	22 900
ESAL 2013 (Año 2 = Inicio de Proyecto)	83	72 600
ESAL 2015 (Año 4 = Año 1 de funcionamiento)	93	128 000
ESAL 2020 (Año 9 = Año 5 de funcionamiento)	121	295 000

Fuente: Elaboración Propia

5. Del análisis del estudio de suelos de la Variante Coporaque, se logró identificar tres (03) sectores que presentan baja capacidad de soporte (CBR < 6%), que requerirán un mejoramiento de subrasante, tal como se muestra a continuación:

**Cuadro N° 4.08: Sectores con CBR < 6%**

N°	PROGRESIVA (KM)		CLASIFICACIÓN			CBR (95% MDS 0,2")
	INICIAL	FINAL	SUCS	PROF. (*) (M)	TIPO DE SUELO	
A	173+800	174+145	CL	0,70 - 1,10	Tufo volcánico	3,50 % y 1,60 % (**)
				1,10 - 1,90	Arcilla	
B	174+460	174+880	CL	0,00 – 0,70	Arena limosa	1,60 % (**)
			MH	0,70 – 1,00	Tufo volcánico (limo de alta plasticidad)	
C	174+880	175+250	GP-GC	0,30 – 1,00	Grava arcillosa	2,00 % (**)
			MH	1,00 1,50	Limo de alta plasticidad blanda	

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

- (\*) Profundidad con respecto a la cota actual del terreno.  
(\*\*) Sectores que requiere mejoramiento de subrasante.

6. Se obtuvo los CBR de diseño siguiente:

- Para la Metodología AASHTO 93:

**Cuadro N° 4.12: Resumen de valor soporte (CBR) de diseño**

TRAMO	CBR DE DISEÑO (%)
VARIANTE COPORAQUE	14.65

Fuente: Elaboración propia.

- Para la Metodología usando Geosintéticos:

**Cuadro N° 4.17: Resumen de valor soporte (CBR) de diseño**

TRAMO	CBR DE DISEÑO (%)
VARIANTE COPORAQUE	12.43

Fuente: Elaboración propia.

7. Los espesores de capas de afirmado y sus características técnicas son las siguientes:

- Para la Metodología AASHTO 93:

**Cuadro N° 4.13: Tabla de espesores de afirmado calculado**

DESCRIPCIÓN	ESPEORES
ESPEOR DEL AFIRMADO (CALCULADO)	17.58 cm
ESPEOR DEL AFIRMADO (SEGÚN CATÁLOGO)	21.00 cm
ESPEOR DEL AFIRMADO RECOMENDADO (*)	20.00 cm <> 0.20 m

Fuente: Elaboración propia.

(\*) Afirmado Tipo 3.

- Para la Metodología usando Geosintéticos:

**Cuadro N° 4.18: Tabla de espesores de afirmado calculado**

DESCRIPCIÓN	ESPEORES
ESPEOR DEL AFIRMADO (CALCULADO)	19.51 cm
ESPEOR DEL AFIRMADO (SEGÚN CATÁLOGO)	21.00 cm

<b>ESPESOR DEL AFIRMADO RECOMENDADO (*)</b>	<b>20.00 cm &lt;=&gt; 0.20 m</b>
---	----------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

(\*) Afirmado Tipo 3.

8. Con relación al planteamiento de solución en sectores donde se presentan suelos de subrasante con CBR < 6%, se propuso el mejoramiento de subrasantes mediante la metodología AASHTO 93. Para el cálculo del CBR compuesto de la subrasante mejorada se usó una expresión de AASHTO, luego para definir el CBR de diseño se consideró el percentil de 75%, y para definir el espesor de afirmado se usó el método NAASRA del Manual de Diseño de Carreteras de VBT / 2008 – MTC, dando como resultado la siguiente estructura de pavimento recomendada:

**Cuadro N° 4.14: Estructura de pavimentos recomendada**

PARÁMETROS	SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C
	L=345m	L=420m	L=370m
Progresivas (Km)	173+800 – 174+145	174+460 – 174+880	174+880 – 175+250
Número de Repeticiones de EE	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>
Periodo de diseño (años)	5	5	5
Tipo de Subrasante	Muy Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre
CBR Subrasante Inadecuada	1,60 % - 3,50 % Prom.=2.55 %	1,60 %	2,00 %
Módulo Resiliente (psi) (Mr = 1500*CBR)	3 825	2 400	3 000
<b>MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE – MÉTODO AASHTO 93</b>			
SN SUBRASANTE INADECUADA	3.06	3.57	3.32
SN SUBRASANTE REGULAR	1.88	1.88	1.88
Diferencial SN Requerido	1.18	1.69	1.44
Coeficiente estructural granular	0.024/cm	0.024/cm	0.024/cm
Mejoramiento granular (cm)	50	72.5	62.5
<b>Espesor adoptado (cm)</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>65</b>

<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA</b>			
Superficie de Rodadura (cm)	20	20	20
Reemplazo de Material CBR >=10%	50	75	65
<b>Total (cm)</b>	<b>70</b>	<b>95</b>	<b>85</b>

Fuente: Elaboración propia.

9. Con relación al planteamiento de solución en sectores donde se presentan suelos de subrasante con CBR < 6%, se propuso el mejoramiento de subrasantes mediante la aplicación de geosintéticos. Para los cálculos del refuerzo y separación de subrasantes se usaron los softwares siguientes:

- GEOSOFT - PAVCO Versión 3.0
- SPECTRA PAVE PRO Versión 4.6

Para el cálculo del CBR compuesto de la subrasante mejorada se usó una expresión de AASHTO, luego para definir el CBR de diseño se consideró el percentil de 75%, y para definir el espesor de afirmado se usó el método NAASRA del Manual de Diseño de Carreteras de VBT / 2008 – MTC, dando como resultado la siguiente estructura de pavimento recomendada:

**Cuadro N° 4.19: Estructura de pavimentos recomendada**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>SECTOR A</b>	<b>SECTOR B</b>	<b>SECTOR C</b>
	<b>L=345m</b>	<b>L=420m</b>	<b>L=370m</b>
Progresivas (Km)	173+800 – 174+145	174+460 – 174+880	174+880 – 175+250
Número de Repeticiones de EE	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>	2.95*10 <sup>5</sup>
Periodo de diseño (años)	5	5	5
Tipo de Subrasante	Muy Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre
CBR Subrasante Inadecuada	1,60 % - 3,50 % Prom.=2.55 %	1,60 %	2,00 %
Módulo Resiliente (psi) (Mr = 1500*CBR)	3 825	2 400	3 000
<b>MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE – GEOSINTÉTICOS</b>			
Presión de inflado de neumático (kPa)	550	550	550

Carga por eje (Kn)	80	80	80
CBR Material Granular (%)	10	10	10
CBR Subrasante (%)	1	1	1
Mejoramiento granular (cm)	48 - 59	48 - 59	48 - 59
<b>Espesor adoptado (cm)</b>	<b>50 - 60</b>	<b>50 - 60</b>	<b>50 - 60</b>
<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA</b>			
Superficie de Rodadura (cm)	20	20	20
Reemplazo de Material CBR $\geq 10\%$	50	50	50
<b>Total (cm)</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
Geomalla Triaxial TX160 (TENSAR INTERNATIONAL)	Refuerzo de la capa de rodadura, colocado antes de la descarga del material de afirmado sobre capa de material de relleno o material de refuerzo de subrasante de suelo blando.		
Geomalla P-BX12 (PAVCO)	Refuerzo o mejoramiento de subrasante de suelo blando, colocado sobre el geotextil.		
Geotextil No Tejido NT 2500 (PAVCO)	Separación en la interfaz subrasante – capa granular de mejoramiento, y capas de relleno.		

Fuente: Elaboración propia.

10. Los geosintéticos, ya sean geotextiles, geomallas PAVCO o Tensar International obtenidos en el cálculo de refuerzo de subrasantes y que forman parte de la estructura del pavimento recomendado son los siguientes:

**Cuadro: Geosintéticos recomendados en el diseño de pavimento**

<b>GEOSINTÉTICOS PAVCO</b>			
<b>Tipo de Refuerzo</b>	<b>Espesor Calculado (m)</b>	<b>Espesor Requerido (m)</b>	<b>Optimización de recursos (%)</b>
Geomalla P-BX12	0.44	0.45	46
<b>Tipo de Separación</b>		<b>Geotextil recomendado</b>	
Geotextil No Tejido		NT2500	
<b>GEOSINTÉTICOS TENSAR</b>			
<b>Tipo de Refuerzo</b>	<b>Espesor Calculado (m)</b>	<b>Espesor Requerido (m)</b>	<b>Optimización de recursos (%)</b>
Geomalla BX Type 2	0.47	0.50	43
Geomalla TX160	0.37	0.40	55

Fuente: Elaboración propia



## 5.2 RECOMENDACIONES

Para el diseño del pavimento propuesto de afirmado se tienen fundamentalmente las siguientes recomendaciones de diseño:

1. Teniendo en cuenta que la estructura estará conformada por un pavimento con superficie de rodadura no pavimentada de afirmado, y a fin de garantizar su comportamiento como una carretera de bajo volumen de tránsito es necesario el uso de geosintéticos como geotextiles y geomallas, para poder garantizar un buen comportamiento funcional y estructural del pavimento.
2. En caso de encontrarse materiales superficialmente orgánicos (top soil), tal como se indica en los registros de exploración de calicatas y perfil estratigráfico del estudio de suelos de la Variante Coporaque, este deberá ser previamente retirado y reemplazado con material granular ( $CBR \geq 40\%$ ) en toda su potencia, el cual deberá ser compactado en capas hasta lograr el 95% de la Máxima Densidad Seca del Ensayo Próctor Modificado, a fin garantizar un adecuado apoyo de la plataforma de la vía. Si el material inadecuado a retirar tiene un espesor muy grande, entonces será muy óptimo el uso de geotextiles y geomallas.
3. Una vez que se haya efectuado la excavación hasta llegar a la profundidad del nivel de subrasante donde se proyecta colocar y apoyar la estructura del pavimento proyectado, es recomendable que se efectúen previamente los trabajos de escarificado, perfilado, nivelación y compactación de la subrasante al 95% de la Máxima Densidad Seca del ensayo Proctor Modificado, previos a la construcción de dichas obras proyectadas.
4. Las recomendaciones señaladas en el presente diseño de pavimento deberán ser concordantes con el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, aprobada mediante Resolución Ministerial N°304-2008-MTC/024, de fecha 04 de Agosto del 2008.
5. La buena calidad y permanencia de la obra deviene de efectuar un control permanente de los parámetros de calidad de los materiales antes y durante la ejecución de la obra (proceso constructivo). Por tanto se deberá aplicar en

forma estricta y adecuada las especificaciones técnicas y procedimientos utilizados en Ingeniería para la explotación de las canteras, fundamentalmente tomando en consideración la variabilidad horizontal y vertical que presentan las mismas por su génesis, así como el control permanente de las características físico – mecánicas de los agregados en relación con los volúmenes explotados.

6. Para garantizar la permanencia del pavimento, se recomienda que el pavimento tenga un mantenimiento rutinario, preventivo y correctivo durante el periodo de duración previsto.
  
7. Los proveedores de geosintéticos conocidos en el mercado como PAVCO y TENSAR, cuentan con mucha experiencia en el campo del uso de geosintéticos en obras civiles y además en base a tecnologías e investigaciones han desarrollado documentos y software que son de gran ayuda para el diseño de pavimentos.

## BIBLIOGRAFÍA

- CORDO, OSCARV., “Diseño de Pavimentos (AASHTO 93)”. Traducida del libro original, “AASHTO Design Procedures For New Pavements”. Editado por el instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos (NHI), 3ra edición. Estados Unidos, 1998.
- ENRIQUEZ MINAYA, YADIRA, **“Refuerzo y separación de suelos con geotextiles en pavimentos. Aplicación en la Carretera Pisco - Ayacucho Tramo IV”**. Tesis para optar Título Profesional FIC-UNI. Lima, Perú, 2000.
- GEOSISTEMAS PAVCO SA, UNA EMPRESA MEXICHEM, “Manual de Diseño con Geosintéticos PAVCO”. Editado por Zetta Comunicadores S.A., 9na edición. Colombia 2012.
- MTC (2008), “Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”. Perú.
- MTC (2008), “Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito”. Perú.
- MTC (2013), “Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”. Perú.
- MTC (2013), “Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial”. Perú.
- ORÉ GARNICA, ALEJANDRO POMPEYO, **“Diseño de espesores de pavimentos con el método AASHTO 93”**. Tesis para optar Título Profesional FIC-UNI. Lima, Perú, 2001.
- Spectra, “Sistema de Mejoramiento de Carreteras”. Editado por Tensar International Corporation. EEUU de América, 2009.

## ANEXOS

### ANEXO 1: INFORMACIÓN DE DISEÑO VIAL

La variante de Coporaque inicia en la progresiva 173+800.00 y finaliza en la progresiva 176+000.00 cuyas coordenadas y cotas son:

PROGRESIVA (Km)	COORDENADA UTM NORTE (m)	COORDENADA UTM ESTE (m)	COTA SUBRASANTE (msnm)
173+800	8361602.659	872642.191	3954.160
176+000	8360758.812	874421.978	3926.530

Los parámetros de diseño de vial adoptados son los siguientes:

DESCRIPCION	PARÁMETROS	OBSERVACIÓN
Clasificación de la Carretera	Tercera Clase	Tipo 3
Velocidad Directriz	40 Km/h	
Radio Mínimo	50 m	
Ancho de Calzada	6.00 m	
Ancho de Berma	0.50 m	
Longitud Mínimo Curva Vertical	60 m	
Peralte Máximo	8%	Normal = 6%
Pendiente Máximo	10%	Tipo 3
Bombeo de la calzada	B = 3.00%	Para Precipitación: > 500 mm/año
Obras de Drenaje( cunetas, alcantarillas)	Sí	Cunetas triangulares y trapezoidales
Sobreancho	s/a = Según Normas	Máx. Sobreancho = 1.60 m
Sobreancho de Compactación	SAC = 0.50m	Se consideró a ambos lados para colocar los dispositivos de señalización y seguridad vial



## ANEXO 2: INFORMACIÓN DE ESTUDIO DE TRÁFICO


















<b>PROYECCION DE TRÁFICO</b>																		
<b>TRÁFICO NORMAL + TRÁFICO GENERADO + TRÁFICO DESVIADO</b>																		
(Tasa de crecimiento poblacional = 1.02%) (Tasa de crecimiento PBI departamental = 5.51%)																		
CARRETERA SENTIDO UBICACIÓN DE ESTACIÓN		"EXPEDIENTE TÉCNICO DE CONSERVACIÓN DE LA RUTA DE ACCESO A LAS BAMBAS" AMBOS (EVITAMIENTO COPORAQUE) EP-1								ESTACIÓN CÓDIGO DE LA ESTACIÓN				YAURI EP-01				
HORA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
		PICKUP	RURAL Combi		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
DIAGRA SENTIDO																		
2010	12	9	9	12	-	-	14	8	1	1	-	2	3	-	-	-	-	71
2011	12	9	9	12	-	-	15	8	1	1	-	2	3	-	-	-	-	75
2012	13	9	9	12	-	-	15	9	1	1	-	2	3	-	-	-	-	79
2013 (Año 2 = Inicio de Proyecto)	13	10	9	12	-	-	16	9	1	1	-	2	4	-	-	-	-	83
2014	13	10	9	12	-	-	17	10	1	1	-	2	4	-	-	-	-	88
2015 (Año 4 = Año 1 de Funcionamiento)	13	10	9	12	-	-	18	10	1	1	-	3	4	-	-	-	-	93
2016	13	10	10	12	-	-	19	11	1	1	-	3	4	-	-	-	-	98
2017	13	10	10	12	-	-	20	12	1	1	-	3	4	-	-	-	-	103
2018	13	10	10	13	-	-	21	12	2	2	-	3	5	-	-	-	-	109
2019	14	10	10	13	-	-	22	13	2	2	-	3	5	-	-	-	-	115
2020 (Año 9 = Año 5 de Funcionamiento)	14	10	10	13	-	-	24	14	2	2	-	3	5	-	-	-	-	121

Figura: Tráfico Proyectado para la Variante Coporaque

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

## NÚMERO ACUMULADO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES

TRÁFICO NORMAL + TRÁFICO GENERADO + TRÁFICO DESVIADO  
(Tasa de crecimiento poblacional = 1.02%) (Tasa de crecimiento PBI departamental = 5.51%)

$$EAL_{g,2 Tn (n \text{ años})} = \frac{365 * (IMDom * FDom + IMD2eli * FD2eli + IMD2e * FD2e + IMD3e * FD3e + IMDa * FDa) * [(1+r)^n - 1]}{2 * (r)}$$

CARRETERA  
SENTIDO  
UBICACIÓN DE ESTACIÓN

\*EXPEDIENTE TÉCNICO DE CONSERVACIÓN DE LA RUTA DE ACCESO A LAS BAMBAS\*  
AMBOS (EVITAMIENTO COPORAQUE)  
EP-1

ESTACIÓN  
CÓDIGO DE LA ESTACIÓN

YAURI  
EP-01

HORA	AUTO	CAMIONETAS		MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
		PICKUP	RURAL Combi		2E	3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
DIAGRA SENTIDO																		
IMDi (2010)	12	9	9	12	0	0	14	8	1	1	0	2	3	0	0	0	0	71
FDi	0.000	0.000	0.000	0.000	4.504	3.285	4.504	3.285	2.283	7.742	5.924	6.523	4.705	10.980	9.761	9.761	8.542	
2010	-	-	-	-	-	-	62	26	2	8	-	13	14	-	-	-	-	126
ACTUALIZACIÓN	N=365/2 * (EE2010) * ((1+r)^n - 1) / (r)																	
2011 (Año 0)	-	-	-	-	-	-	11,343	4,796	417	1,413	-	2,381	2,576	-	-	-	-	2.29E+04
2012	-	-	-	-	-	-	23,310	9,855	856	2,904	-	4,893	5,294	-	-	-	-	4.71E+04
2013 (Año 2 = Inicio de Proyecto)	-	-	-	-	-	-	35,937	15,194	1,320	4,477	-	7,543	8,162	-	-	-	-	7.26E+04
2014	-	-	-	-	-	-	49,260	20,827	1,809	6,136	-	10,340	11,187	-	-	-	-	9.96E+04
2015 (Año 4 = Año 1 de Funcionamiento)	-	-	-	-	-	-	63,317	26,770	2,326	7,887	-	13,290	14,380	-	-	-	-	1.28E+05
2016	-	-	-	-	-	-	78,148	33,040	2,870	9,735	-	16,404	17,748	-	-	-	-	1.58E+05
2017	-	-	-	-	-	-	93,796	39,656	3,445	11,684	-	19,688	21,302	-	-	-	-	1.90E+05
2018	-	-	-	-	-	-	110,307	46,637	4,052	13,741	-	23,154	25,052	-	-	-	-	2.23E+05
2019	-	-	-	-	-	-	127,728	54,002	4,692	15,910	-	26,811	29,008	-	-	-	-	2.58E+05
2020 (Año 9 = Año 5 de Funcionamiento)	-	-	-	-	-	-	146,108	61,773	5,367	18,200	-	30,669	33,182	-	-	-	-	2.95E+05

Fuente: Proyecto Las Bambas

Figura: Cálculo del Número de repeticiones ejes equivalentes acumulados a para la Variante Coporaque

Fuente: Proyecto Las Bamba

### ANEXO 3: INFORMACIÓN DE SUELOS Y CANTERAS

CODIGO DEL PROYECTO : 106800

ARCHIVO N°: T2

PROYECTO : Ingeniería de Detalle, Estudios de Geotecnia e Hidrología, Camino Las Bambas a Antapacay Reformulación del Expediente de la Variante

TECNICO : Isaac Vargas

UBICACIÓN : Cusco - Espinar - Coporaque

REVISADO : Ing. David Vasquez

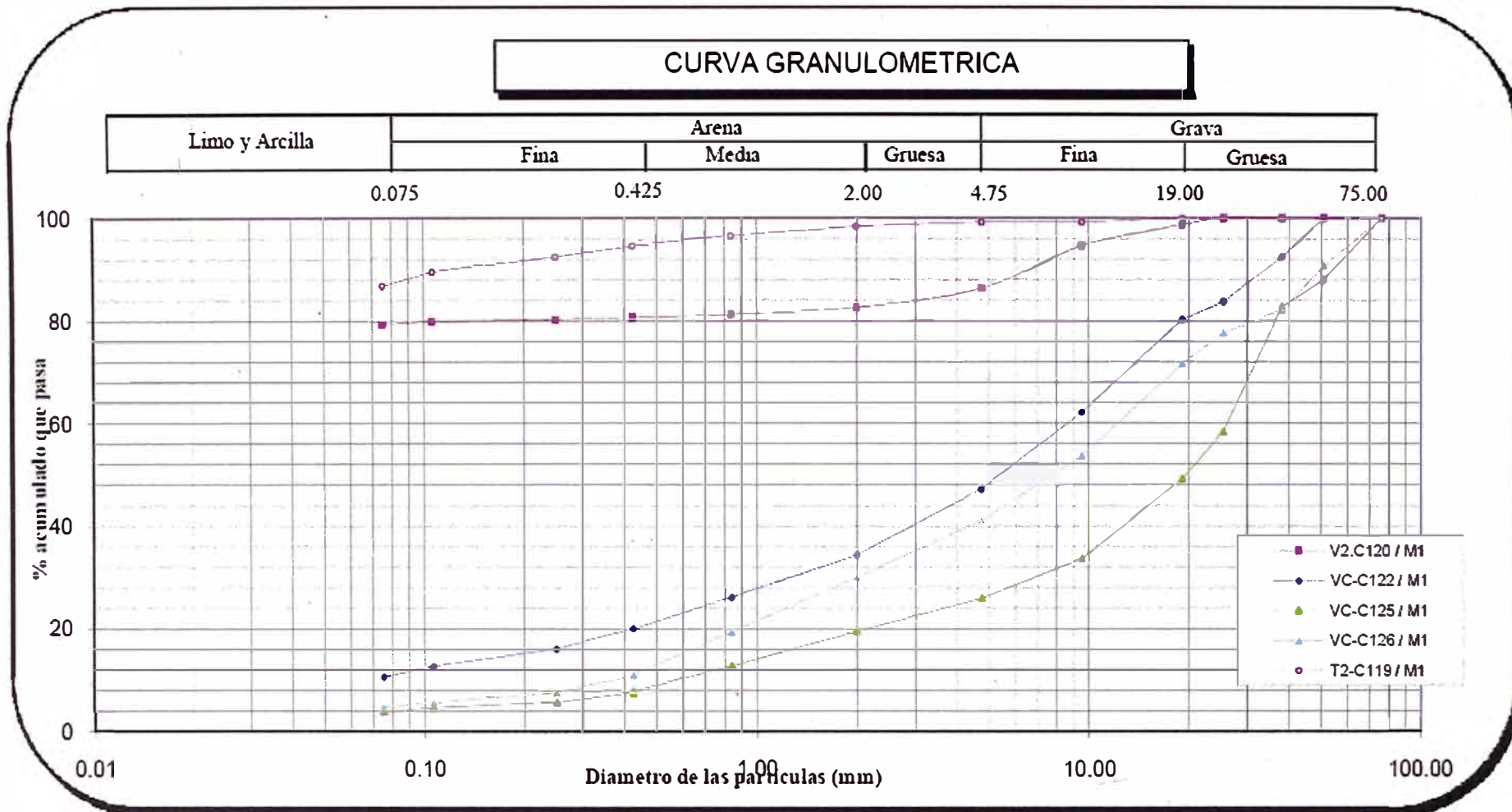
FECHA : 25/11/10

Sondaje		V2.C120	VC-C122	VC-C125	VC-C126	T2-C119
Muestra		M1	M1	M1	M1	M1
Profundidad (m)		0.20-1.50	0.70 - 1.50	0.80 - 1.50	0.80-1.50	1.20-1.50
Progresiva (km)		174+000	174+460	175+220	175+450	173+720
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3 "	76.200	100.0	100.0	100.0	100.0
	2 "	50.800	100.0	100.0	88.1	90.8
	1 1/2 "	38.100	100.0	92.5	82.7	82.0
	1 "	25.400	100.0	83.7	58.3	77.6
	3/4"	19.100	98.7	80.3	49.1	71.6
	3/8"	9.520	94.6	62.1	33.6	53.6
	N° 4	4.760	86.4	47.3	25.9	41.1
	N° 10	2.000	82.6	34.3	19.5	30.0
	N° 20	0.840	81.2	26.1	12.8	19.4
	N° 40	0.425	80.7	20.0	7.8	11.0
	N° 60	0.250	80.3	16.0	5.8	7.5
	N° 140	0.106	79.9	12.7	4.7	5.6
N° 200	0.075	79.4	10.6	3.9	4.7	
Contenido de Humedad ( % )		15.1	5.1	5.0	7.5	42.1
Límite Líquido ( LL ) ( % )		35	22	24	-	68
Límite Plástico ( LP ) ( % )		21	NP	16	NP	39
Índice Plástico ( IP ) ( % )		14	NP	8	-	28
Clasificación ( AASHTO )		-	A-1-a	A-2-4	A-1-a	A-7-5
Clasificación ( S.U.C.S. )		CL	GP - GM	GP	GP	MH
Descripción ( S.U.C.S. )		Arcilla de baja plasticidad con grava	Grava pobremente gradada con limo y arena	Grava pobremente gradada con arena	Grava pobremente gradada con arena	Limo de alta plasticidad

Figura: Análisis Granulométrico del suelo existente

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"



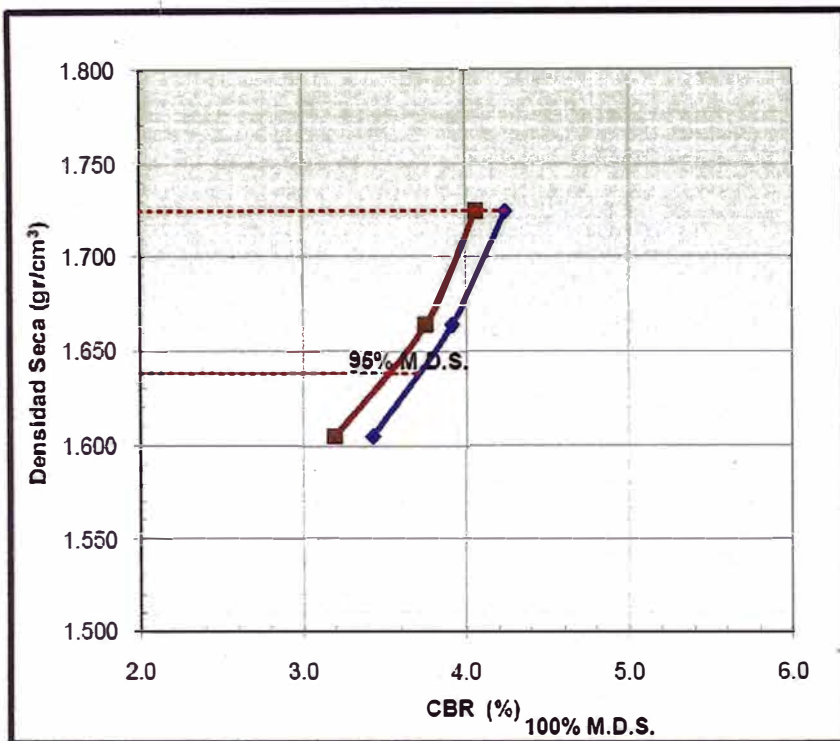


**Figura: Curva Granulométrica del suelo existente**

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

**SONDAJE** : VC/C-120  
**MUESTRA** : M-1  
**PROF. (m)** : 0.20-1.50

**CLASIFICACIÓN SUCS** : CL  
**CLASIFICACIÓN AASHTO** : -



**METODO DE COMPACTACION** : "C"  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.725  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)** : 18.640  
**95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³)** : 1.639

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	4.2	0.2":	4.0
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	3.7	0.2":	3.5

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 4.2 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 3.7 (%)

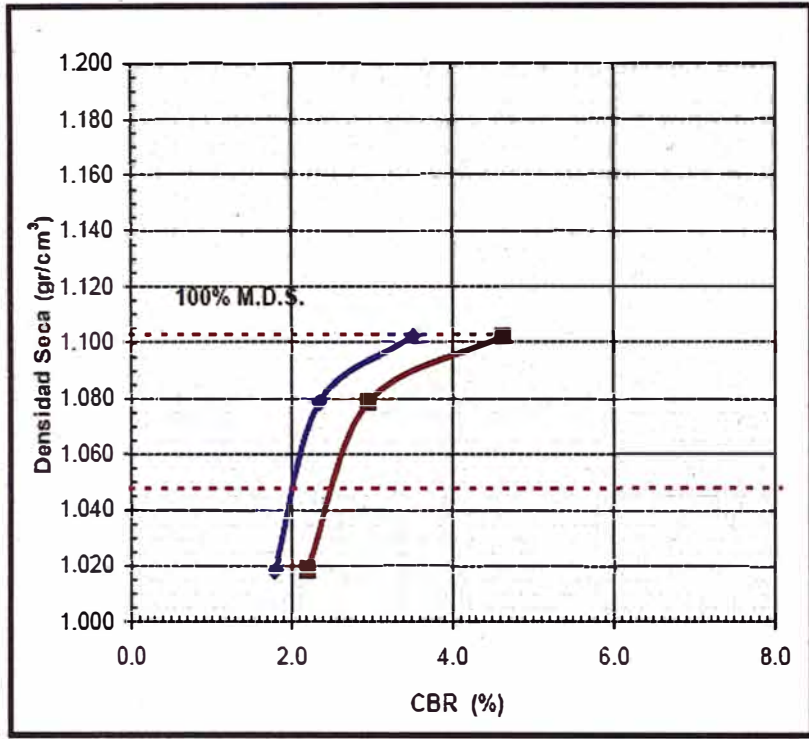
**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Figura: Valores de CBR del suelo existente**

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

Sondaje: VC-C-123A  
 Muestra: M-2  
 Prof(m): 1.00-1.50

Clasificación SUCS : CL  
 Clasificación AASHTO : A-7-5 (17)



Método de compactación : A  
 Máxima densidad seca (g/cm³) : 1.103  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 40.700  
 95% Máxima densidad seca (g/cm³) : 1.048

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	3.5	0.2":	4.7
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	1.6	0.2":	2.0

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 4.7 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 2.0 (%)

**Observaciones**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

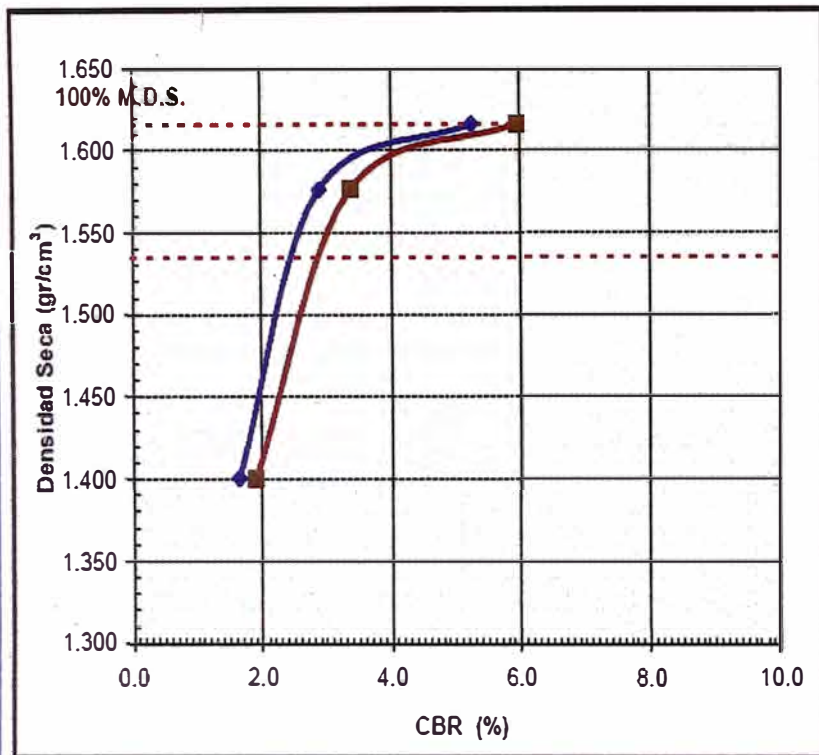
\_\_\_\_\_

Figura: Valores de CBR del suelo existente

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

Sondaje: VC-T 120  
 Muestra: M-1  
 Prof(m): 1.10-1.90

Clasificación SUCS : CL  
 Clasificación AASHTO : A-7-6 (17)



Método de compactación : A  
 Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) : 1.616  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 20.600  
 95% Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) : 1.535

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	5.2	0.2":	5.9
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	1.3	0.2":	1.6

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 5.9 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 1.6 (%)

**Observaciones**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

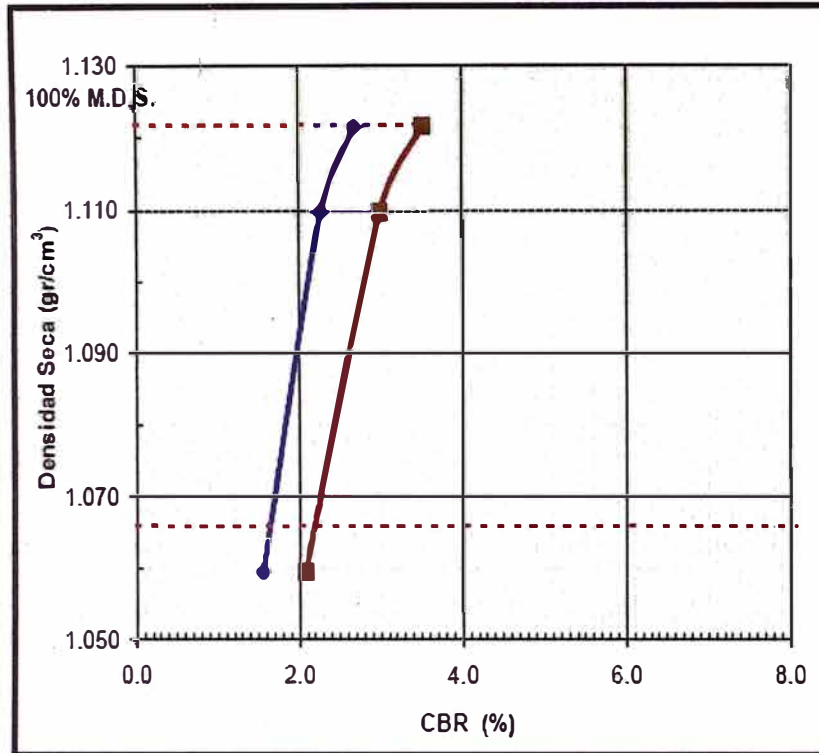
\_\_\_\_\_

Figura: Valores de CBR del suelo existente

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

Sondaje: VC-C-122A  
 Muestra: M-2  
 Prof(m): 0.70-1.50

Clasificación SUCS : MH  
 Clasificación AASHTO : A-7-5 (17)



Método de compactación : A  
 Máxima densidad seca ( $\text{g/cm}^3$ ) : 1.122  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 41.130  
 95% Máxima densidad seca ( $\text{g/cm}^3$ ) : 1.066

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	2.7	0.2":	3.5
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	1.6	0.2":	2.1

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 3.5 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 2.1 (%)

**Observaciones**

---



---



---



---

**Figura: Valores de CBR del suelo existente**

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

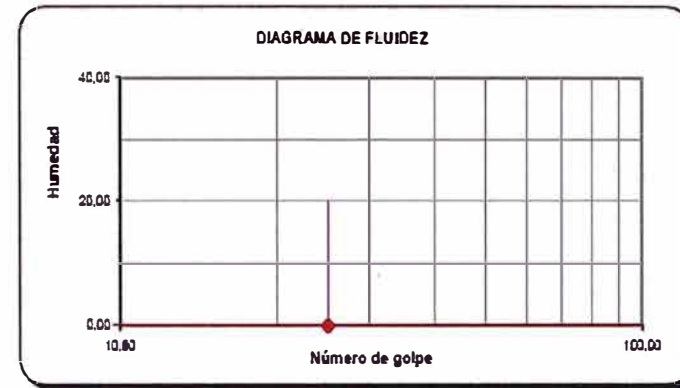
Sondeo : Cantera Rio  
 Qquero/C-12 Muestra : M-1 Profundidad (m):0.00-1.80

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
	3 "	76,200	100,0
	2 "	50,800	87,8
	1 1/2 "	38,100	69,3
	1 "	25,400	55,8
	3/4"	19,100	49,1
	3/8"	9,520	34,1
	Nº 4	4,760	25,3
	Nº 10	2,000	17,9
	Nº 20	0,840	9,2
	Nº 40	0,425	3,1
	Nº 60	0,250	1,3
	Nº 140	0,106	0,4
	Nº 200	0,075	0,0

Contenido de Humedad referencial (%W) : 1,83

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido ( LL ) ASTM-D4318 (%) : -  
 Límite Plástico ( LP ) ASTM-D4318 (%) : NP  
 Índice Plástico ( IP ) (%) : -



**Distribución Granulométrica**

% Grava	GG%	50,9
	GF%	23,8
% Arena	AG%	7,4
	AM%	14,8
	AF%	3,1
% Finos		0,00

Clasificación ( S.U.C.S. ) ASTM-D2487	
GW	Grava bien gradada con arena

Clasificación ( AASHTO ) ASTM-D3282	
A-1-a	Índice de Grupo : 0

Figura: Valores de CBR del material de cantera

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

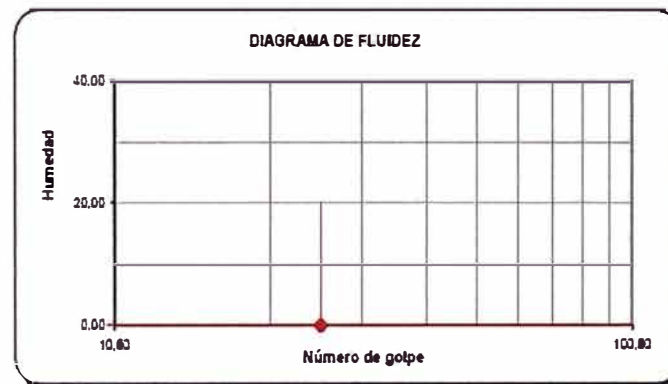
Cantera Rio  
 Sondeo : Quhero/C-5 Muestra : M-1 Profundidad (m): 0.00-1.50

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
	3 "	76,200	100,0
	2 "	50,800	88,9
	1 1/2 "	38,100	77,0
	1 "	25,400	65,7
	3/4 "	19,100	56,8
	3/8 "	9,520	42,3
	Nº 4	4,760	32,8
	Nº 10	2,000	25,1
	Nº 20	0,840	17,7
	Nº 40	0,425	8,9
	Nº 60	0,250	3,8
	Nº 140	0,106	1,0
	Nº 200	0,075	0,0

Contenido de Humedad referencial (%W) : 3,10

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido ( LL ) ASTM-D4318 (%): -  
 Límite Plástico ( LP ) ASTM-D4318 (%): NP  
 Índice Plástico ( IP ) (%): -



**Distribución Granulométrica**

% Grava	GG%	43,2
	GF%	24,0
% Arena	AG%	7,7
	AM%	16,2
	AF%	8,9
% Finos		0,00

Clasificación ( S.U.C.S. ) ASTM-D2487	
GW	Grava bien gradada con arena

Clasificación ( AASHTO ) ASTM-D3282	
A-1-a	Índice de Grupo : 0

Figura: Valores de CBR del material de cantera

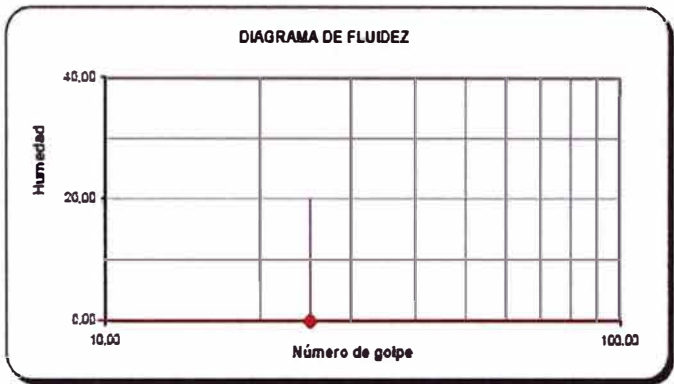
Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

Cantera Rio  
 Sondeo : Qquero/C-2. Muestra : M-1 Profundidad (m): 0.00-2.00

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
	3 "	76,200	94.1
	2 "	50,800	90.9
	1 1/2 "	38,100	78.3
	1 "	25,400	69.0
	3/4"	19,100	50.0
	3/8"	9,520	37.1
	Nº 4	4,760	26.2
	Nº 10	2,000	20.7
	Nº 20	0,840	14.4
	Nº 40	0,425	5.7
	Nº 60	0,250	2.3
	Nº 140	0,106	0.6
	Nº 200	0,075	0.0

Contenido de Humedad referencial (%W) : 2,09

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**  
 Límite Líquido ( LL ) ASTM-D4318 (%): -  
 Límite Plástico ( LP ) ASTM-D4318 (%): NP  
 Índice Plástico ( IP ) (%): -



**Distribución Granulométrica**

% Grava	GG%	44.1
	GF%	23.8
% Arena	AG%	5.5
	AM%	15.0
	AF%	5.7
% Finos		0,00

Clasificación ( S.U.C.S. ) ASTM-D2487	
GW	Grava bien gradada con arena

Clasificación ( AASHTO ) ASTM-D3282		
A-1-a	Índice de Grupo :	0

Figura: Valores de CBR del material de cantera

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"



Sondeo : Cantera Río Quero/C-10. Muestra : M-1 Profundidad (m): 0.00-1.50

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM-D422)			
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla		% que pasa
	Nº	Abertura (mm)	
	3 "	76,200	100,0
	2 "	50,800	94,0
	1 1/2 "	38,100	77,3
	1 "	25,400	61,8
	3/4 "	19,100	51,4
	3/8 "	9,520	35,6
	Nº 4	4,760	25,6
	Nº 10	2,000	17,5
	Nº 20	0,840	11,5
	Nº 40	0,425	6,4
	Nº 60	0,250	3,1
	Nº 140	0,106	0,8
	Nº 200	0,075	0,1

Contenido de Humedad referencial (%W) : 2,43

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Límite Líquido (LL) ASTM-D4318 (%): -  
 Límite Plástico (LP) ASTM-D4318 (%): NP  
 Índice Plástico (IP) (%): -



**Distribución Granulométrica**

% Grava	GG%	48,6
	GF%	25,8
% Arena	AG%	8,1
	AM%	11,1
	AF%	6,3
% Finos		0,10

Clasificación ( S.U.C.S. ) ASTM-D2487	
GW	Grava bien gradada con arena

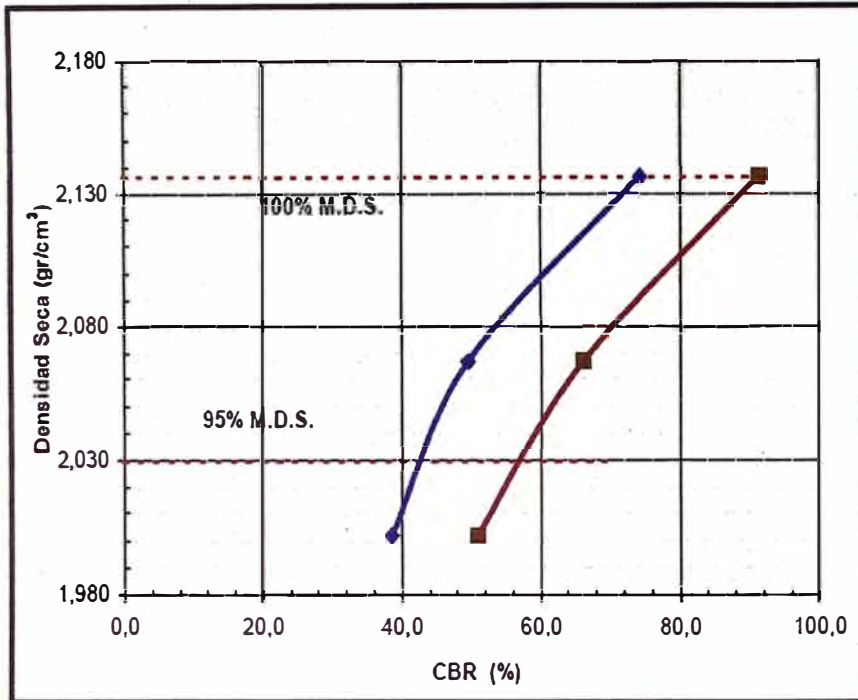
Clasificación ( AASHTO ) ASTM-D3282	
A-1-a	Índice de Grupo : 0

Figura: Valores de CBR del material de cantera

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

Sondaje: Río Qquero/C10-C1-C8  
 Muestra: M-1  
 Prof(m):

Clasificación SUCS : GW  
 Clasificación AASHTO : A-1-a (0)



Método de compactación : " C "  
 Máxima densidad seca (g/cm³) : 2,136  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 5,840  
 95% Máxima densidad seca (g/cm³) : 2,030

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	74,4	0.2":	91,3
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	42,0	0.2":	56,5

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 91,3 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 56,5 (%)

**Observaciones**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

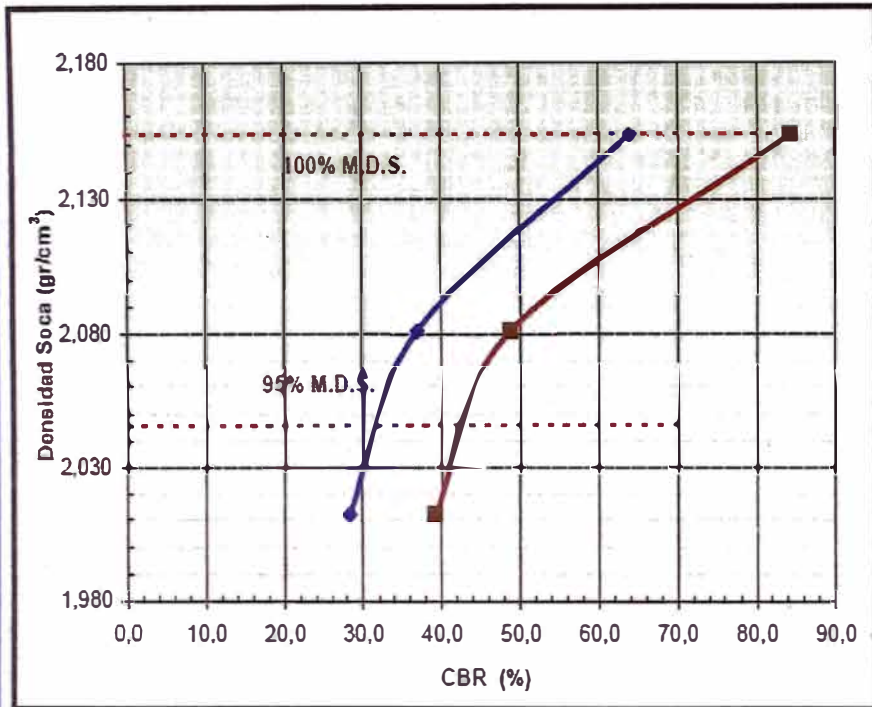
\_\_\_\_\_

Figura: Valores de CBR del material de cantera

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

Sondaje: Río Quhero/C12-C5-C6  
 Muestra: M-1  
 Prof(m):

Clasificación SUCS : GW  
 Clasificación AASHTO : A-1-a (0)



Método de compactación : " C "  
 Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) : 2,154  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 6,250  
 95% Máxima densidad seca (g/cm<sup>3</sup>) : 2,046

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	64,0	0.2":	84,4
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	30,5	0.2":	40,9

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 84,4 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 40,9 (%)

**Observaciones**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

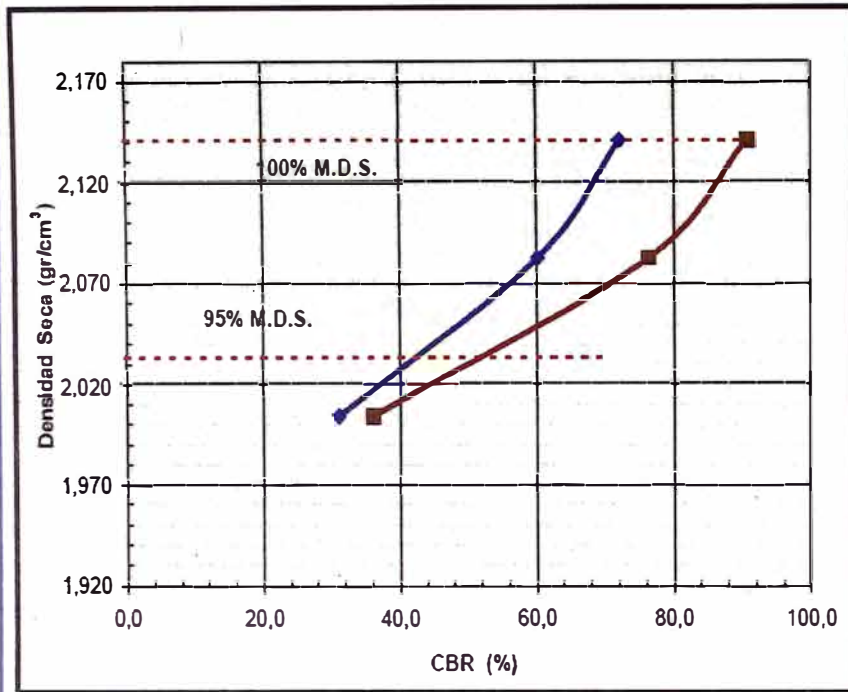
\_\_\_\_\_

Figura: Valores de CBR del material de cantera

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

Sondaje: Río Qquero/C4-C3-C9  
 Muestra: M-1  
 Prof(m):

Clasificación SUCS : GW  
 Clasificación AASHTO : A-1-a (0)



Método de compactación : " C "  
 Máxima densidad seca (g/cm³) : 2,141  
 Óptimo contenido de humedad (%) : 6,100  
 95% Máxima densidad seca (g/cm³) : 2,034

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1":	72,0	0.2":	90,8
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1":	43,6	0.2":	54,2

**RESULTADOS:**

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 90,8 (%)  
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 54,2 (%)

**Observaciones**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura: Valores de CBR del material de cantera

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

### ANEXO 4: CATÁLOGO DE CAPAS DE REVESTIMIENTO GRANULAR

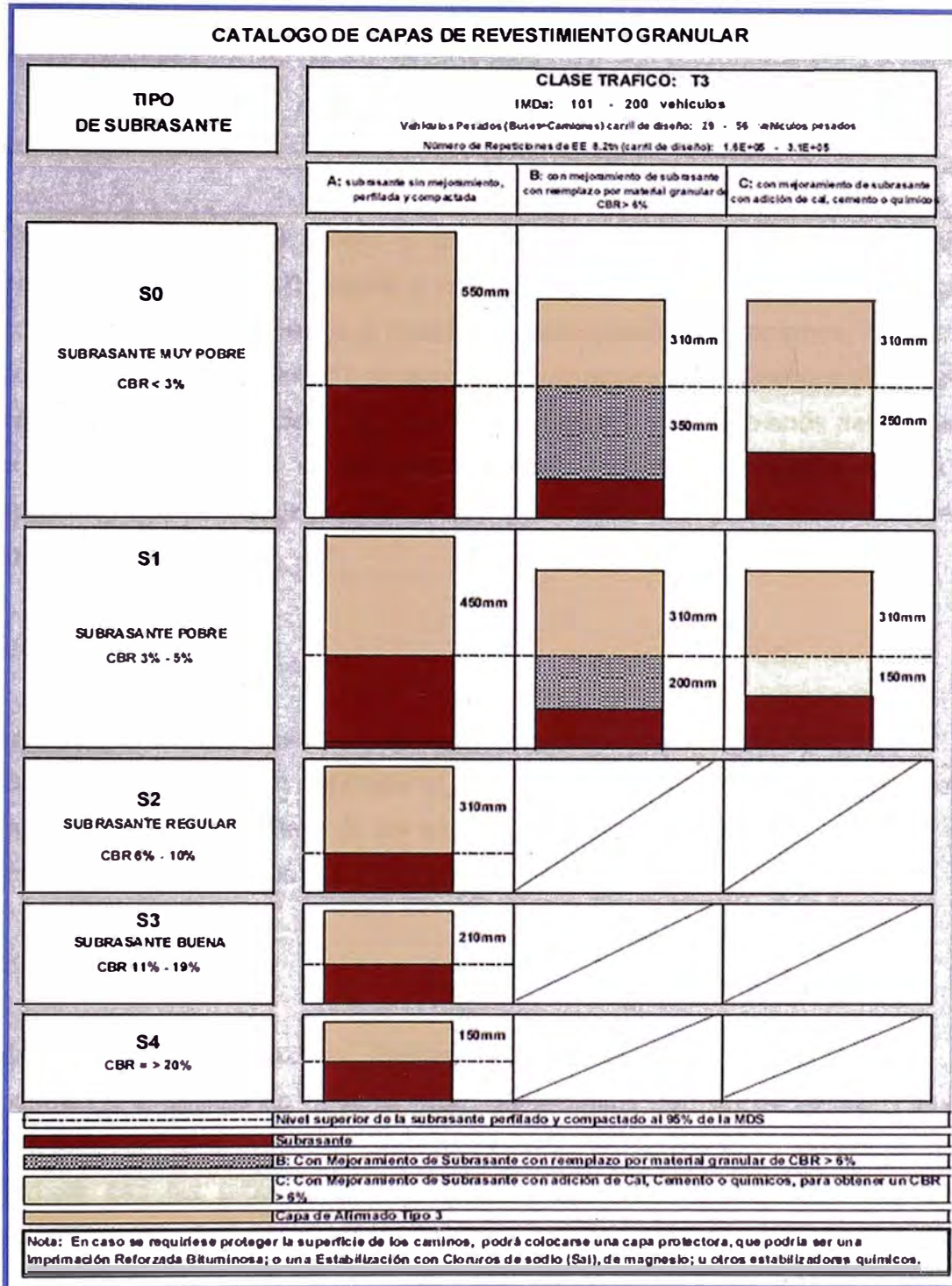


Figura: Catálogo de capas de revestimiento granulares

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito / 2008 - MTC

## **ANEXO 5: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GEOSINTÉTICOS**

### **ANEXO 5.1: GEOTEXTIL TEJIDO Y NO TEJIDO – PAVCO**

#### **ARTICULO 231**

##### **231.1 Descripción**

Esta especificación se refiere al uso de geotextiles para prevenir la mezcla entre los suelos de subrasante y agregados o materiales seleccionados para conformar subbases, bases, o materiales para construir terraplenes; los que se colocarían sobre el geotextil de acuerdo a un espesor de diseño y va lores de compactación establecidos, en los sitios señalados por los pianos del proyecto o los indicados por el Interventor. Esta especificación se basa en la supervivencia de los geotextiles frente a los esfuerzos producidos durante la instalación.

##### **231.2 Materiales**

Las propiedades requeridas del geotextil para separación deben estar en función de la gradación del material granular, de las condiciones geomecánicas del suelo de subrasante y de las cargas impuestas durante la ejecución de los trabajos, permitiendo en todo momento el libre paso, del agua.

###### **231.2.1 Geotextil**

Se emplearían geotextiles Tejidos o no Tejidos elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínima del 95% en peso de poliolefinas o poliéster. El geotextil a utilizar debería cumplir con las propiedades mecánicas e hidráulicas que se presentan a continuación.

###### **231.2.1.1 Requerimientos de las propiedades mecánicas**

Las propiedades de resistencia de los geotextiles dependen de los requerimientos de supervivencia y de las condiciones y procedimientos de

instalación. Estas propiedades corresponden a condiciones normales de instalación.

### 231.2.2 Material granular

Este material debe cumplir con las especificaciones y características para afirmado (artículo 311), subbase granular (artículo 320) y base granular (artículo 330) en el caso de que se esté proyectando la conformación de estructura para vía, o con características de material seleccionado para la conformación de terraplenes.

### 231.2.3 Subrasante

Para considerar que la función de separación se dé por parte del geotextil, el suelo de subrasante debería presentar un CBR mayor o igual a 3 ( $CBR \geq 3,0$  que la resistencia al corte sea mayor a 90 kPa aproximadamente) y estar en condición de no saturación.

### 231.3 Equipo

Se deberá disponer de los equipos necesarios para colocar el geotextil correctamente y el requerido para explotar, triturar, procesar, cargar, transportar, colocar y compactar el material granular.

PROPIEDADES MECÁNICAS		NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Método Grab	Resistencia a la tensión	ASTM D4632	N (lb)	730 (164)	950 (213)	990 (222)	1360 (306)	1519 (340)	2150 (484)	2540 (572)	3070 (691)
	Elongación		%	20	16	17	17	17	18	19	20
Método tira ancha	Sentido longitudinal	ASTM D4595	kN/m	19	24	25	35	42	60	72	122
	Elongación		%	22	21	16	19	21	23	24	19
	Sentido transversal	ASTM D4595	kN/m	19	25	27	37	43	58	64	127
	Elongación		%	14	15	13	14	15	16	17	18
	Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	400 (90)	470 (106)	490 (110)	560 (126)	680 (153)	950 (213)	1100 (247)	1100 (247)
Método CBR	Resistencia al punzonamiento	ASTM D6241	kN	2.9	3.4	3.6	5.0	5.5	8.0	8.1	12.0
	Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	N (lb)	300 (67)	270 (61)	340 (76)	470 (106)	520 (117)	630 (142)	770 (173)	1611 (363)
Método Mullen Burst	Resistencia al estallido	ASTM D3726	kPa (psi)	2302 (334)	2909 (422)	3088 (448)	3957 (574)	4653 (675)	6288 (912)	7074 (1026)	8100 (1174)

PROPIEDADES HIDRÁULICAS		NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
	Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm (N° Tamiz)	0.425 (40)	0.300 (50)	0.300 (50)	0.300 (50)	0.425 (40)	0.425 (40)	0.425 (40)	0.425 (40)
	Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	$1.2 \times 10^{-1}$	$1.2 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-3}$	$6.3 \times 10^{-2}$	$5.3 \times 10^{-2}$	$6.0 \times 10^{-2}$	$8.1 \times 10^{-2}$	$7.0 \times 10^{-2}$
	Permitividad	ASTM D4491	s <sup>2</sup>	0.30	0.20	0.17	0.66	0.55	0.55	0.62	1.20
	Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m <sup>2</sup>	831	490	458	2100	1506	1513	1720	1900

PROPIEDADES FÍSICAS		NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
	Espesor	ASTM D5199	mm	0.4	0.6	0.7	1.0	1.0	1.1	1.3	0.6
	Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
	Rollo ancho	Medido	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.75
	Rollo largo	Medido	m	200	160	160	140	120	100	100	100
	Rollo área	Calculado	m <sup>2</sup>	770	616	616	539	462	385	385	375

PROPIEDADES GEOTEXTIL		NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
	Separación			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Estabilización				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Refuerzo					✓	✓	✓	✓	✓	✓

### CONVENCIONES

ASTM: American Society for Testing and Materials.  
 N.A. No aplica.

La presente ficha técnica está vigente a partir de agosto de 2011. Geosistemas PAVCO se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis, es cierta y exacta a nuestro ~~tal~~ saber y entender; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control.

Los valores enunciados corresponden a los promedios estadísticos de los lotes de producción (valores típicos).

Los geotextiles son productos fotodegradables, no biodegradables, no deben ser incinerados y se debe disponer de ellos en forma adecuada.

Estos productos han sido manufacturados bajo los controles de calidad establecidos por un sistema de gestión de calidad que cumple con los requisitos ISO 9001:2008.

Para asesoría en diseño, proceso constructivo e instalación, favor contactar al Departamento de Ingeniería de Geosistemas PAVCO al correo [ingenieria@geosinteticos.amco@pavco.com.co](mailto:ingenieria@geosinteticos.amco@pavco.com.co)

Figura: Especificaciones Técnicas del Geotextil Tejido - PAVCO

Fuente: PAVCO.



PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Método Grab Resistencia a la tensión	ASTM D4632	N (lb)	440 (99)	530 (118)	620 (141)	750 (169)	830 (187)	1080 (243)	1255 (283)	1410 (320)	1720 (391)	530 (120)	600 (135)
Elongación		%	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	250 (57)	310 (70)	360 (82)	400 (91)	440 (100)	590 (134)	700 (159)	800 (182)	910 (207)	300 (68)	320 (73)
Método CBR Resistencia al punzonamiento	ASTM D6241	kN	1.4	1.6	1.7	2.3	2.4	3.1	3.4	4.1	5.4	N. A.	N. A.
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	N (lb)	190 (43)	230 (52)	235 (53)	290 (65)	315 (71)	360 (81)	420 (94)	540 (123)	600 (136)	235 (53)	250 (56)
Método Mullen Burst Resistencia al estallido	ASTM D3786	kPa (psi)	1311 (190)	1587 (230)	1794 (260)	2070 (300)	2208 (320)	2829 (410)	3174 (460)	3795 (550)	4830 (700)	1518 (220)	1587 (230)
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm (N. Tamiz)	0.180 (80)	0.150 (100)	0.150 (100)	0.125 (120)	0.125 (120)	0.09 (170)	0.09 (170)	0.09 (170)	0.09 (170)	N. A.	N. A.
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	44 x 10 <sup>-2</sup>	42 x 10 <sup>-2</sup>	33 x 10 <sup>-2</sup>	38 x 10 <sup>-2</sup>	35 x 10 <sup>-2</sup>	26 x 10 <sup>-2</sup>	24 x 10 <sup>-2</sup>	22 x 10 <sup>-2</sup>	15 x 10 <sup>-2</sup>	N. A.	N. A.
Permitividad	ASTM D4491	s <sup>m</sup>	2.9	2.5	2.2	1.9	1.8	1.2	1.0	0.7	0.5	N. A.	N. A.
Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m <sup>2</sup>	8109	6568	6120	5043	4390	3440	3160	2294	2060	N. A.	N. A.
Retención de asfalto	ASTM D6140	L/m <sup>2</sup>	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	1.0	1.0
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Espesor	ASTM D5199	mm	1.5	1.7	1.7	2.0	2.0	2.2	2.4	3.1	3.2	1.5	1.6
Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
Punto de fusión	ASTM D276	°C	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	150	150
Rollo ancho	Medido	m	3.5 - 3.8 - 4.0	3.5 - 3.8 - 4.0	3.5 - 3.8 - 4.0	3.5 - 3.8 - 4.0	3.5 - 3.8 - 4.0	3.5 - 3.8 - 4.0	3.5 - 3.8 - 4.0	3.5 - 3.8 - 4.0	3.5 - 3.8 - 4.0	3.8	3.8
Rollo largo	Medido	m	160	150	130	120	120	130	120	100	80	180	150
Rollo área	Calculado	m <sup>2</sup>	560 - 608 - 640	525 - 570 - 600	455 - 491 - 520	420 - 456 - 480	420 - 456 - 480	455 - 494 - 520	420 - 456 - 480	350 - 380 - 400	280 - 304 - 320	634	570
FUNCION DEL GEOTEXTIL	NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
Filtración			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Drenaje			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Protección			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Separación						✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Estabilización								✓	✓	✓	✓		
Repavimentación												✓	✓

Figura: Especificaciones Técnicas del Geotextil No Tejido - PAVCO

Fuente: PAVCO

## **ANEXO 5.2: GEOMALLA BIAXIAL COEXTRUÍDA (P-BX11 / P-BX12) PAVCO**

Las geomallas biaxiales son estructuras bidimensionales de polipropileno, químicamente inertes, producidas mediante un proceso de extrusión, garantizando alta resistencia a la tensión y un alto módulo de elasticidad.

Proporciona excelente resistencia frente a posibles daños de instalación y exposición ambiental. Están diseñadas especialmente para estabilización de suelos y aplicaciones de refuerzo.

### **a. Campos de aplicación**

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

### **b. Ventajas**

- Aumenta la vida útil de la estructura inicial al utilizarla en los granulares.
- Genera menor impacto ambiental en la explotación de pétreos al reemplazar los granulares.
- Disminuye espesores de granulares al emplearla como refuerzo.

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	P-BX11 <sup>1</sup>	P-BX12 <sup>1</sup>	NOTAS
Resistencia a la tensión 2% deformación (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(4.1/6.6) kN/m	(6.0/9.0) kN/m	
Resistencia a la tensión 5% deformación (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(8.5/13.4) kN/m	(11.8/19.6) kN/m	
Resistencia a la tensión pico (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(12.4/19.0) kN/m	(19.2/28.8) kN/m	
Eficiencia en los nodos <sup>3</sup>	GRI-GG2	93%	93%	
Rigidez flexural <sup>4</sup>	ASTM D1388	250 mg - cm x 1000	750 mg - cm x 1000	
Rigidez torsional (J) <sup>5</sup>	US ARMY COE	3.2 kg - cm/deg	6.5 kg - cm/deg	
PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	P-BX11	P-BX12	
Tamaño de abertura (SL/ST) <sup>2</sup>	Medido	(25/33) mm	(25/33) mm	
Espesor de costillas (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D1777	(0.76/0.76) mm	(1.27/1.27) mm	
Área abierta	CW 02215	75%	80%	
Resistencia a los daños de instalación <sup>6</sup>	ASTM D6637	(>90) %SC/%SW/%GP	(>90) %SC/%SW/%GP	
Resistencia a la degradación a largo plazo <sup>7</sup>	ASTM D4355-05	>100%	>100%	
PRESENTACIÓN	NORMA	P-BX11	P-BX12	
Ancho del rollo	Medido	4.0 m	4.0 m	
Longitud del rollo	Medido	75 m	50 m	
Área del rollo	Medido	300 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	

Figura: Especificaciones Técnicas de la Geomalla Biaxial Coextruida (P-BX11 / P-BX12) – PAVCO.

Fuente: PAVCO.

## ANEXO 5.3: GEOMALLA TRIAX TX140 – TENSAR INTERNACIONAL

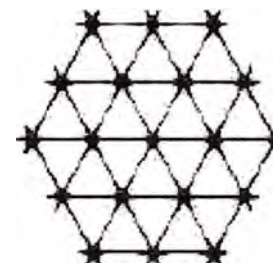
### Product Specification - TriAx® TX140 Geogrid

Tensar Internacional Corporation reserves the right to change its product specifications at any time. It is the responsibility of the person specifying the use of this product and of the purchaser to ensure that product specifications relied upon for design or procurement purposes are current and that the product is suitable for its intended use in each instance.

#### General

1. The geogrid is manufactured from a punched polypropylene sheet, which is then oriented in three substantially equilateral directions so that the resulting ribs shall have a high degree of molecular orientation, which continues at least in part through the mass of the integral node.
2. The properties contributing to the performance of a mechanically stabilized layer include the following:

Tensar TriAx® Geogrid



Index Properties	Longitudinal	Diagonal	Transverse	General
• Rib pitch <sup>(2)</sup> , mm (in)	40 (1.60)	40 (1.60)	-	
• Mid-rib depth <sup>(2)</sup> , mm (in)	-	1.2 (0.05)	1.2 (0.05)	
• Mid-rib width <sup>(2)</sup> , mm (in)	-	1.1 (0.04)	1.1 (0.04)	
• Rib shape				Rectangular
• Aperture shape				Triangular
<b>Structural Integrity</b>				
• Junction efficiency <sup>(3)</sup> , %				93
• Overall Flexural Rigidity <sup>(4)</sup> , mg-cm				375,000
• Radial stiffness at low strain <sup>(5)</sup> , kN/m @ 0.5% strain (lb/ft @ 0.5% strain)				225 (15,430)
<b>Durability</b>				
• Resistance to chemical degradation <sup>(6)</sup>				100%
• Resistance to ultra-violet light and weathering <sup>(7)</sup>				70%

Fuente: Tensar Internacional.

### ANEXO 5.4: GEOMALLA TRIAXIAL TX160 – TENSAR INTERNACIONAL

PROPIEDAD Geomalla Triaxial TX160	METODO DE PRUEBA	UNIDAD	VALOR
<b>ENTRELAZAMIENTO</b>			
• Distancia entre costillas y centro del nudo en sentido diagonal.		mm	40
• Profundidad de la costilla.		mm	1.8 (diagonal)
		mm	1.5 (transversal)
• Ancho de la costilla.		mm	1.1 (diagonal)
		mm	1.3 (transversal)
• Espesor del nudo		mm	3.1
• Forma de la costilla		Rectangular	
• Forma de la apertura		Triangular	
<b>REFUERZO</b>			
• Eficiencia en la Junta	GRI-GG2-87	%	93
• Estabilidad de la apertura	U.S. Army Corps of Engineers	Kg-cm/deg @5.0kg-cm	3.6
• Rigidez radial al 0,5% de deformación.	ASTM D6637-01	kN/m	300.0
<b>DURABILIDAD</b>			
• Resistencia a largo plazo por degradación química.	EN12960	%	100
• Resistencia a largo plazo por degradación UV	EN12224	%	100
<b>TIPO DE PRODUCTO</b>	Geomalla estructural formada integralmente de una lámina de Polipropileno.		
<b>MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CARGA</b>	Entrelazamiento mecánico positivo.		

Fuente: Tensar Internacional.

## ANEXO 6: REPRESENTACIONES GRÁFICAS DE CARACTERÍSTICAS DE GEOSINTÉTICOS

### ANEXO 6.1: REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOMALLAS

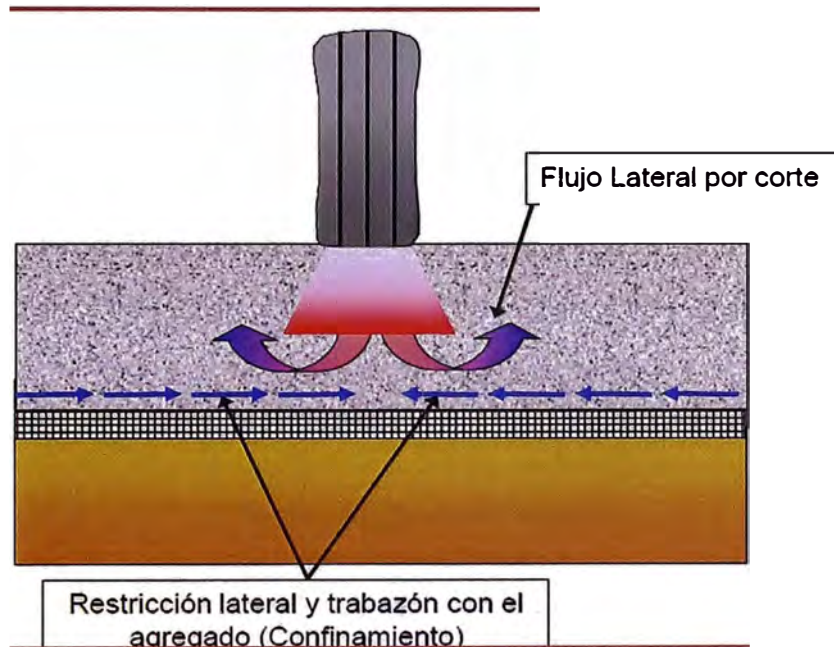


Figura: Confinamiento lateral

Fuente: Tensar Internacional.

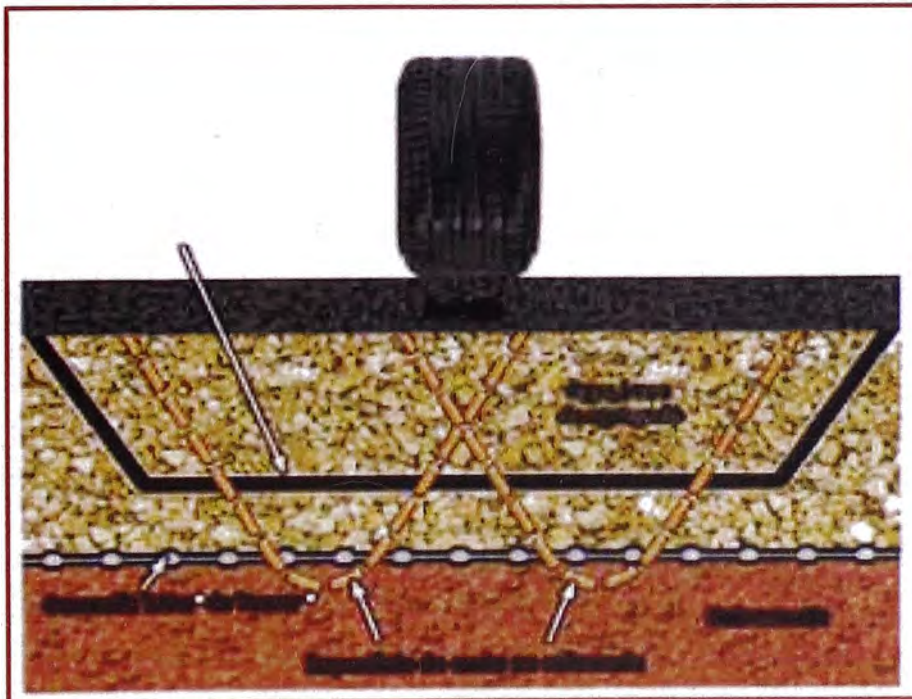


Figura: Mejoramiento de la capacidad portante.

Fuente: Tensar Internacional.

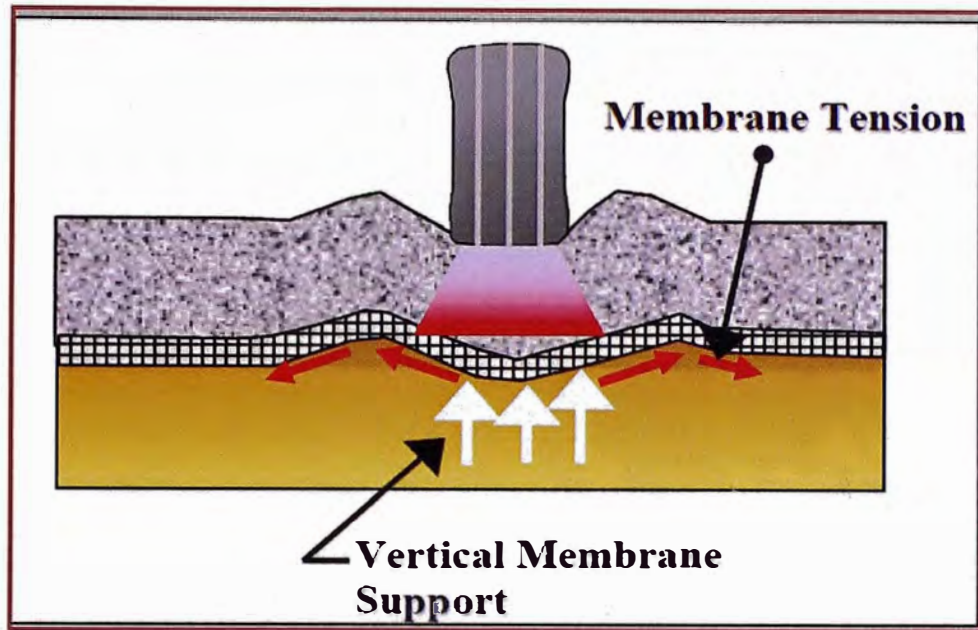


Figura: Membrana Tensionada

Fuente: Tensar Internacional.

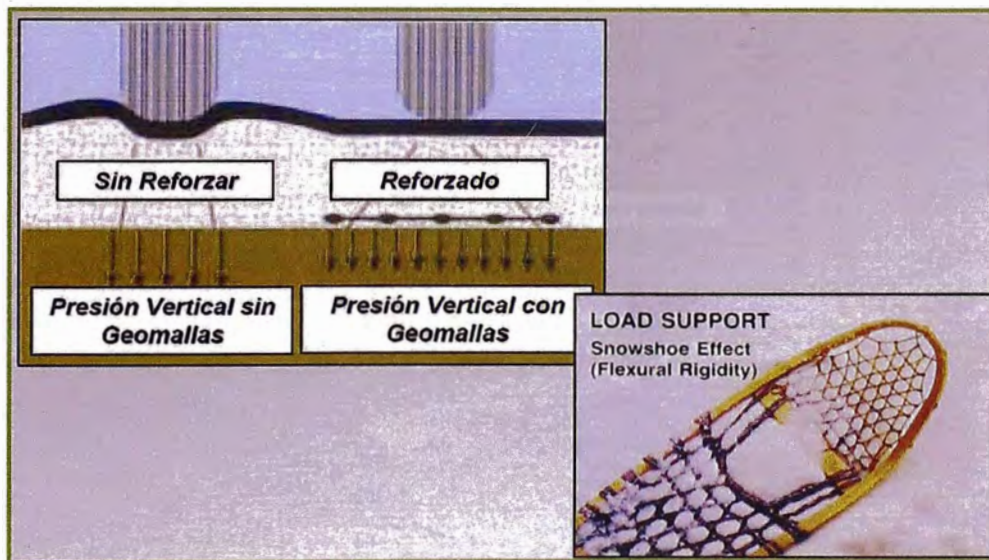


Figura: Mejoramiento de la capacidad portante: el efecto zapato de nieve.

Fuente: Tensar Internacional

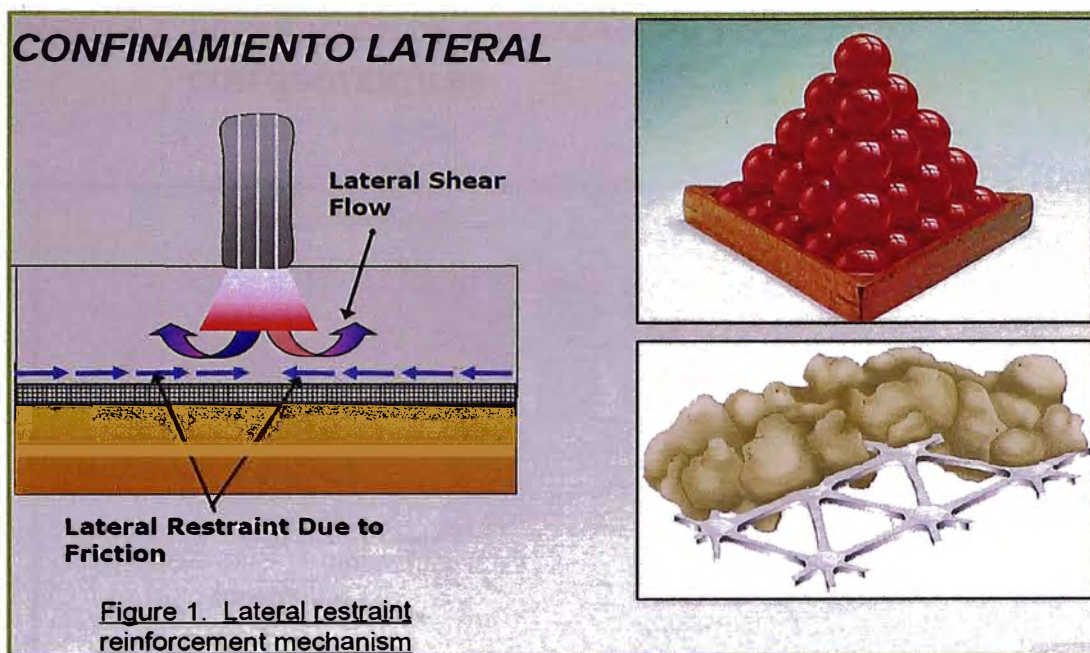


Figura: La contención lateral es la clave de la rigidez del agregado

Fuente: Tensar Internacional

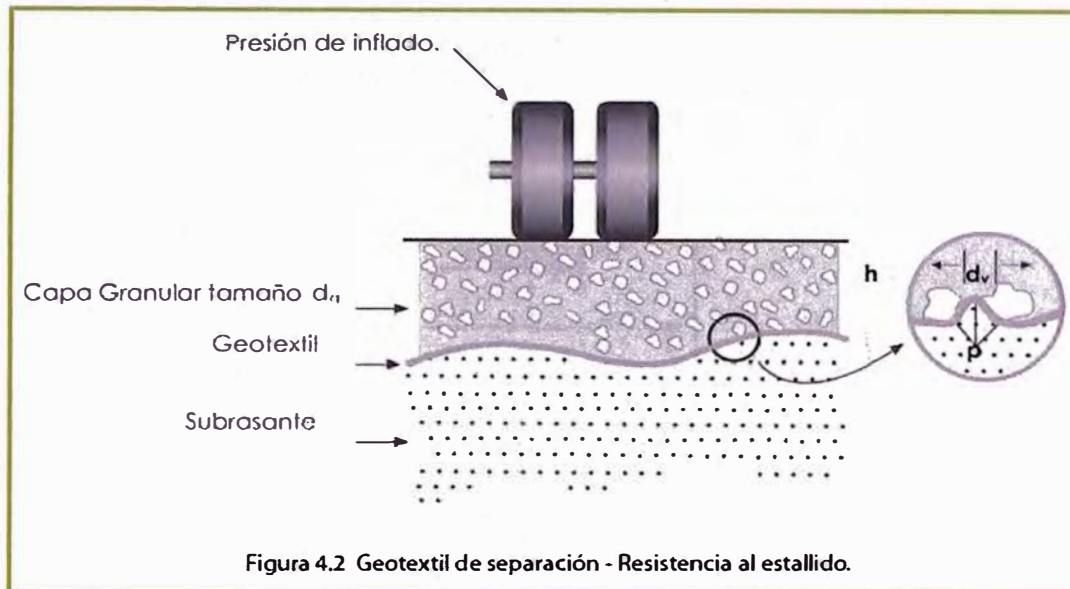


Figura: Reducción del espesor de los componentes

Fuente: Tensar Internacional.

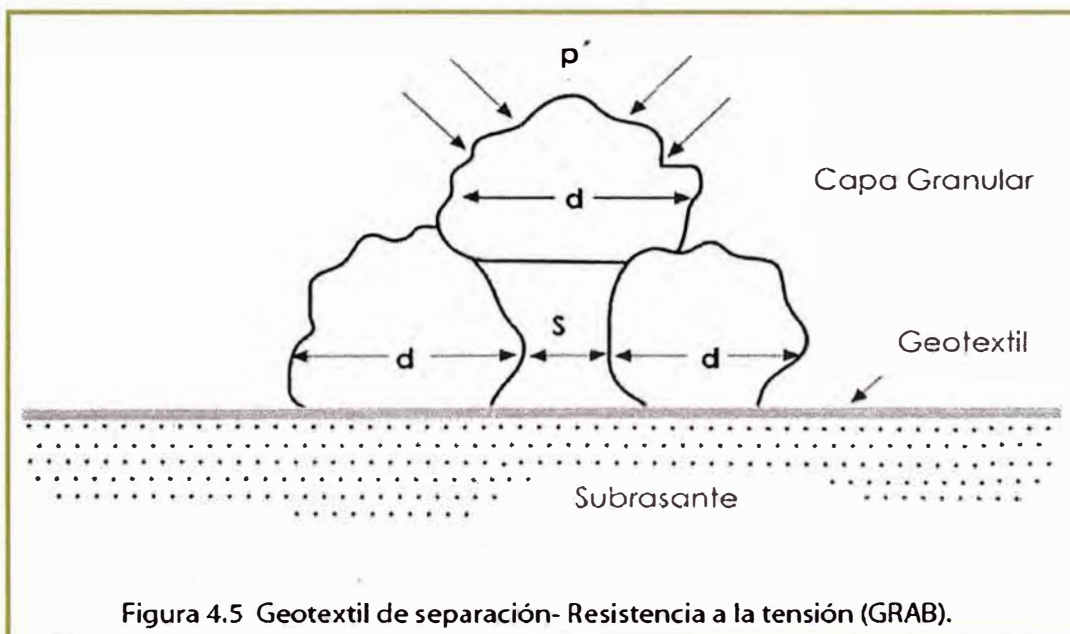


## ANEXO 6.2: SEPARACIÓN DE SUBRASANTES Y BASES GRANULARES CON GEOTEXTILES



**Figura: Resistencia al estallido (Mullen Burst)**

Fuente: PAVCO.



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

Fuente: PAVCO.

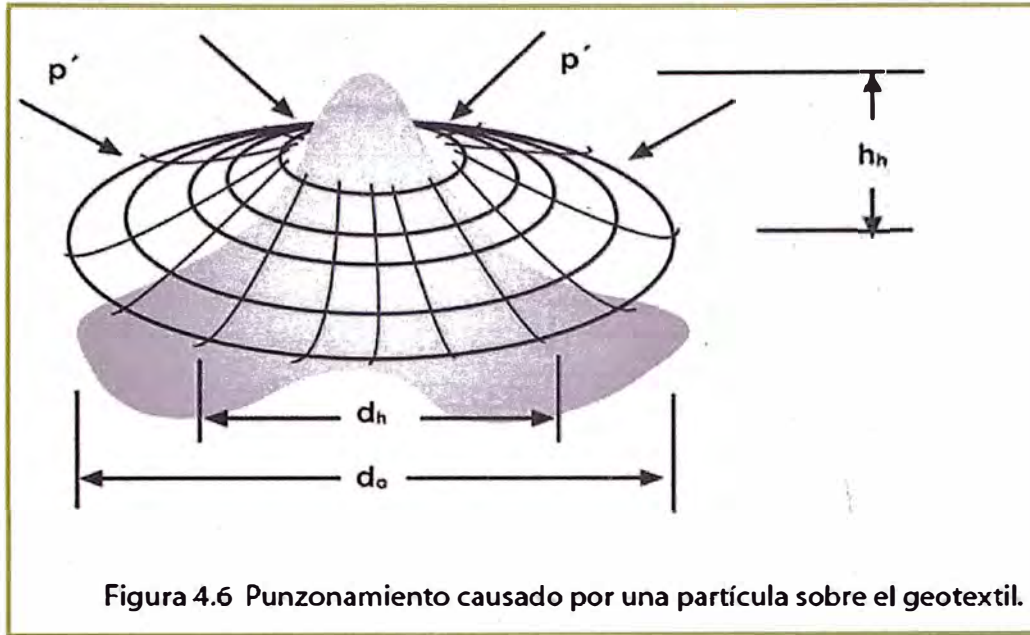


Figura 4.6 Punzonamiento causado por una partícula sobre el geotextil.

Figura: Resistencia punzonamiento

Fuente: PAVCO.

## ANEXO 7: CÁLCULO DE NÚMERO ESTRUCTURAL (SN) Y DE ESPESORES DE MEJORAMIENTO

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 70 %  $Z_r = -0.524$  So: 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4 PSI final: 1.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 3825 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi):  Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi):  Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

W18 = 295000

Número Estructural: SN = 3.06

Botones: Calcular, Salir

Figura: Cálculo del Número estructural para un CBR = 2.55%

Fuente: AASHTO

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 70 %  $Z_r = -0.524$  So: 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4 PSI final: 1.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 3000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi):  Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi):  Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

W18 = 295000

Número Estructural: SN = 3.32

Botones: Calcular, Salir

Figura: Cálculo del Número estructural para un CBR = 2%

Fuente: AASHTO

**CÁLCULO DE ESPESOR DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE**

**METODOLOGÍA AASHTO 93**

**SECTOR A: Km 173+800 - Km 174+145**

$$\text{Log}_e(W_{19}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_e(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_e \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2-1.5} \right]}{0.4 + \frac{1.094}{(SN+1)^{0.19}}} + 2.32 * \text{Log}_e(MR) - 8.07$$

**A. MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE**

MR = 1500 \* CBR (psi)

Fuente: AASHTO 93

**B. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO DEL PAVIMENTO CON SUBRASANTE MUY POBRE (CBR < 6%)**

PARÁMETROS		Ecuación AASHTO 93	
R (%)	70	SNr	3.06
Z <sub>R</sub>	-0.524		
S <sub>o</sub>	0.45		
P <sub>i</sub>	4		
P <sub>t</sub>	1.5		
EALs	2.95E+05		
CBR (%)	2.55		
MR (psi)	3825		

**C. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO DEL PAVIMENTO CON SUBRASANTE REGULAR (CBR >= 10%)**

PARÁMETROS		Ecuación AASHTO 93	
R (%)	70	SN	1.88
Z <sub>R</sub>	-0.524		
S <sub>o</sub>	0.45		
P <sub>i</sub>	4		
P <sub>t</sub>	1.5		
EALs	2.95E+05		
CBR (%)	10		
MR (psi)	15000		

**D. CÁLCULO DE ESPESOR MÍNIMO DE SUBRASANTE MEJORADA**

PARÁMETROS		Ecuación	
a <sub>4</sub> (1/pulg)	0.060	$D_4 = \frac{(SN_r - SN_0)}{(a_4 \times m_4)}$	
m <sub>4</sub>	1		
SN <sub>r</sub>	3.06		
SN <sub>0</sub>	1.88	D <sub>4</sub> (cm)	49.17
D <sub>4</sub> (pulg)	19.67	D <sub>4</sub> (cm)	50.00

Figura: Cálculo del Espesor de mejoramiento de subrasante

Fuente: Elaboración propia

**CÁLCULO DE ESPESOR DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE  
METODOLOGÍA AASHTO 93  
SECTOR A: Km 173+800 - Km 174+145**

$$\text{Log}_e(W_{19}) = Z_r * S_0 + 9.36 * \text{Log}_e(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_e \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1.094}{(SN+1)^{2.17}}} + 2.32 * \text{Log}_e(MR) - 8.07$$

**A. MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE**

MR = 1500 \* CBR (psi)

Fuente: AASHTO 93

**B. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO DEL PAVIMENTO CON SUBRASANTE MUY POBRE (CBR < 6%)**

PARÁMETROS	
R (%)	70
ZR	-0.524
S0	0.45
Pi	4
Pt	1.5
EALs	2.95E+05
CBR (%)	2.00
MR (psi)	3000

Ecuación AASHTO 93

SNr	3.32
-----	------

**C. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO DEL PAVIMENTO CON SUBRASANTE REGULAR (CBR >= 10%)**

PARÁMETROS	
R (%)	70
ZR	-0.524
S0	0.45
Pi	4
Pt	1.5
EALs	2.95E+05
CBR (%)	10
MR (psi)	15000

Ecuación AASHTO 93

SN	1.88
----	------

**D. CÁLCULO DE ESPESOR MÍNIMO DE SUBRASANTE MEJORADA**

PARÁMETROS	
a4 (1/pulg)	0.060
m4	1
SNr	3.32
SN0	1.88
D4 (pulg)	24.00

$$D4 = \frac{(SNr - SN0)}{(a4 \times m4)}$$

D4 (cm)	60.00
D4 (cm)	60.00

Figura: Cálculo del Espesor de mejoramiento de subrasante

Fuente: Elaboración propia

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabledad (R) y Desviación estándar (So)  
 70 %  $Z_r = -0.524$  So 0.45

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4 PSI final 1.5

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 2400 psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN = 3.57

W18 = 295000

Calcular Salir

Figura: Cálculo del Número estructural para un CBR = 2%

Fuente: AASHTO

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabledad (R) y Desviación estándar (So)  
 -0.524 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial 4 PSI final 1.5

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr 15000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos  
 Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)   
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural  
 SN = 1.88

W18 = 295000

Calcular Salir

Figura: Cálculo del Número estructural para un CBR = 2%

Fuente: AASHTO

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)  
70 %  $Z_r = -0.524$  So 0.45

Serviciabilidad inicial y final  
PSI inicial 4 PSI final 1.5

Módulo resiliente de la subrasante  
Mr 1500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 = 295000**  
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN = 4.15**

Calcular Salir

Figura: Cálculo del Número estructural para un CBR = 1%

Fuente: AASHTO

**CÁLCULO DE ESPESOR DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE  
METODOLOGÍA AASHTO 93  
SECTOR A: Km 174+460 - Km 174+880**

$$\text{Log}_0(MR) = Z_r * S_0 + 9.36 * \text{Log}_0(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_0 \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2-1.5} \right]}{0.4 + \frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_0(MR) - 8.07$$

**A. MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE**

MR = 1500 \* CBR (psi)

Fuente: AASHTO 93

**B. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO DEL PAVIMENTO CON SUBRASANTE MUY POBRE (CBR < 6%)**

PARÁMETROS	
R (%)	70
ZR	-0.524
S0	0.45
Pi	4
Pt	1.5
EALs	2.95E+05
CBR (%)	1.6
MR (psi)	2400

Ecuación AASHTO 93

SNr	3.57
-----	------

**C. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO DEL PAVIMENTO CON SUBRASANTE REGULAR (CBR >= 10%)**

PARÁMETROS	
R (%)	70
ZR	-0.524
S0	0.45
Pi	4
Pt	1.5
EALs	2.95E+05
CBR (%)	10
MR (psi)	15000

Ecuación AASHTO 93

SN	1.88
----	------

**D. CÁLCULO DE ESPESOR MÍNIMO DE SUBRASANTE MEJORADA**

PARÁMETROS	
a4 (1/pulg)	0.060
m4	1
SNr	3.57
SN0	1.88
D4 (pulg)	28.17

$$D4 = \frac{(SNr - SN0)}{(a4 \times m4)}$$

D4 (cm)	70.42
D4 (cm)	75.00

Figura: Cálculo del Espesor de mejoramiento de subrasante

Fuente: Elaboración propia



**CÁLCULO DE ESPESOR DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE  
METODOLOGÍA AASHTO 93  
SECTOR A: Km 173+800 - Km 174+145**

$$\text{Log}_e\left(\frac{MR}{100}\right) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_e(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_e\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{1094} + 2.32 * \text{Log}_e(MR - 8.07)$$

$$0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{1.9}}$$

**A. MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE**

MR = 1500 \* CBR (psi)

Fuente: AASHTO 93

**B. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO DEL PAVIMENTO CON SUBRASANTE MUY POBRE (CBR < 6%)**

PARÁMETROS	
R (%)	70
Z <sub>R</sub>	-0.524
S <sub>o</sub>	0.45
P <sub>i</sub>	4
P <sub>t</sub>	1.5
EAL <sub>s</sub>	2.95E+05
CBR (%)	1.00
MR (psi)	1500

Ecuación AASHTO 93

SN <sub>r</sub>	4.15
-----------------	------

**C. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO DEL PAVIMENTO CON SUBRASANTE REGULAR (CBR >= 10%)**

PARÁMETROS	
R (%)	70
Z <sub>R</sub>	-0.524
S <sub>o</sub>	0.45
P <sub>i</sub>	4
P <sub>t</sub>	1.5
EAL <sub>s</sub>	2.95E+05
CBR (%)	10
MR (psi)	15000

Ecuación AASHTO 93

SN	1.88
----	------

**D. CÁLCULO DE ESPESOR MÍNIMO DE SUBRASANTE MEJORADA**

PARÁMETROS	
a <sub>4</sub> (1/pulg)	0.060
m <sub>4</sub>	1
SN <sub>r</sub>	4.15
SN <sub>o</sub>	1.88
D <sub>4</sub> (pulg)	37.83

$$D_4 = \frac{(SN_r - SN_o)}{(a_4 \times m_4)}$$

D <sub>4</sub> (cm)	94.58
D <sub>4</sub> (cm)	95.00

Figura: Cálculo del Espesor de mejoramiento de subrasante

Fuente: Elaboración propia

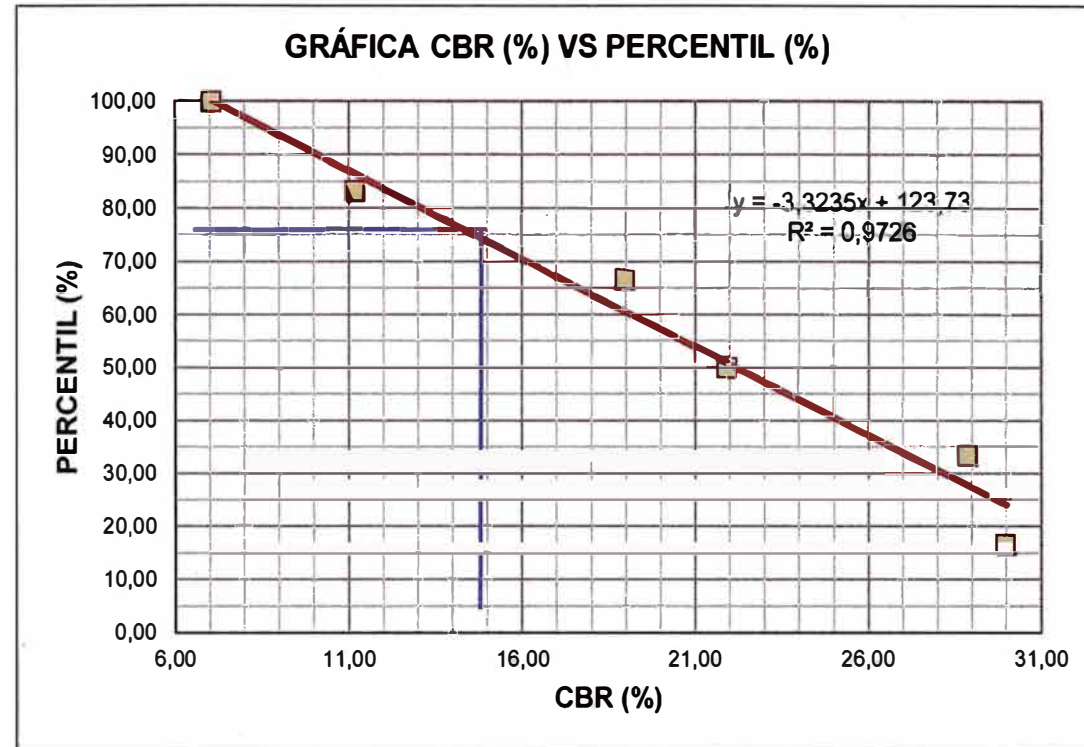
## ANEXO 8: CÁLCULO DEL CBR COMPUESTO DE LA SUBRASANTE Y CBR DE DISEÑO

ITEM	Progresiva	Calicata	Relleno			Estrato 1 que queda luego del corte			Estrato 2 que queda luego del corte			Mejoramiento		CBR compuesto
			Hr (m)	SUCS	CBR	H1 calicata cortada y para cálculo (m)	SUCS	CBR	H2 calicata cortada y para cálculo (m)	SUCS	CBR	H3 (m.)	CBR	
1	173+900	VC-T120	--	--		1.05	CL	3.50		--		0.50	40	7.06
2	174+000	VC-C120	0.58	--	30	0.37	CL	3.50	--	--		0.50	40	29.75
3	174+250	VC-C121A	1.00	--	30	0.50	GC	20.00	--	--		--	--	28.89
4	174+460	VC-C122	0.08	--	30	0.70	ML	1.60	0.72	GP-GM	20			11.20
5	174+760	VC-C122A	--	--		0.25	SM	21.50	0.8	MH	1.6	0.75	40	18.99
6	175+000	VC-C123A	1.50	--	30		--		--	--		0.65	40	30.75
7	175+220	VC-C125	1.43	--	30	0.07	ML	1.60	--	--		0.65	40	30.86
8	175+450	VC-C126	1.50	--	30		--		--	--			--	30.00
9	175+990	VC-C127	0.41	--	30	1.09	SM	21.50	--	--			--	21.93

Figura: Cálculo del CBR compuesto de la subrasante – Metodología AASHTO

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

CBR 95%MDS	CBR 95%MDS (Ordenado)	N° Valores Mayores o Iguales al CBR	PERCENTIL
7.06 (*)	7.06	9.00	100.00
29.75 (*)	11.20	8.00	83.33
28.89	18.99	7.00	66.67
11.20	21.93	6.00	50.00
18.99 (*)	28.89	5.00	33.33
30.75 (*)	30.00	3.00	16.67
30.86 (*)			
30.00			
21.93			



(\*) Subrasante Mejorada con Material de Cantera (CBR>20%).

**Percentil = 75.0%**

**CBR diseño = 14.65%**

**CBR promedio = 19.68%**

**Figura: Cálculo del CBR de Diseño – Metodología AASHTO**

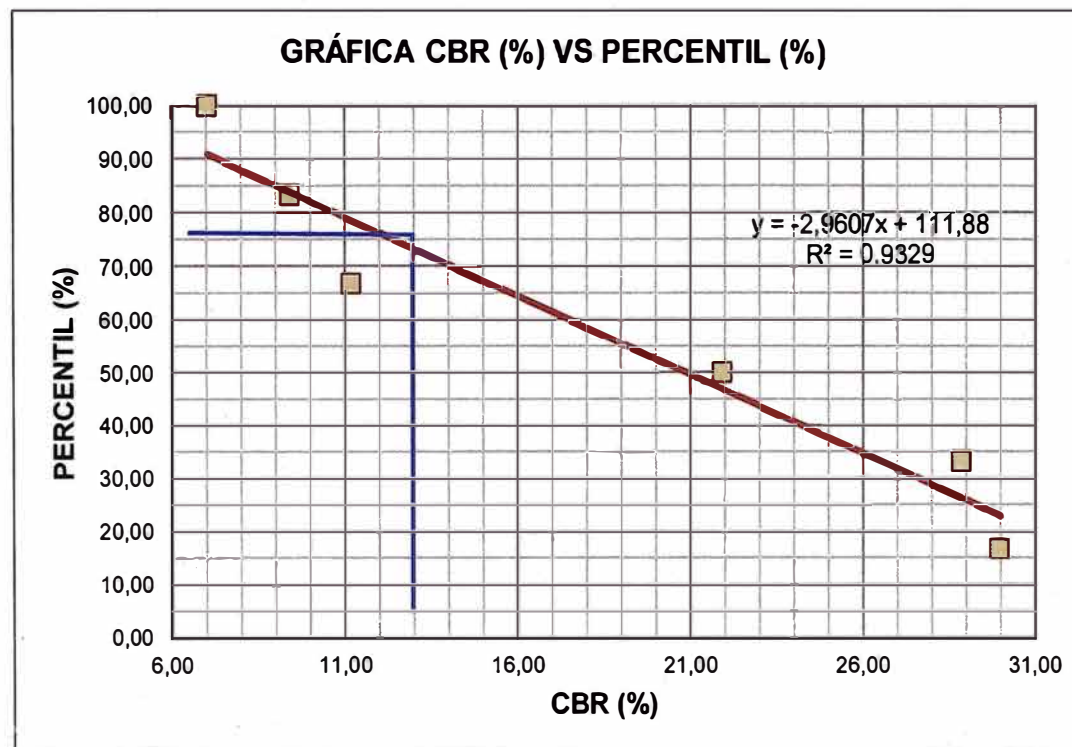
Fuente: Elaboración propia.

ITEM	Progresiva	Calicata	Relleno			Estrato 1 que queda luego del corte			Estrato 2 que queda luego del corte			Mejoramiento		CBR compuesto
			Hr (m.)	SUCS	CBR	H1 calicata cortada y para cálculo (m.)	SUCS	CBR	H2 calicata cortada y para cálculo (m.)	SUCS	CBR	H5 (m.)	CBR	
1	173+900	VC-T120	--	--		1.05	CL	3.50		--		0.50	40	7.06
2	174+000	VC-C120	0.58	--	30	0.37	CL	3.50	--	--		0.50	40	29.75
3	174+250	VC-C121A	1.00	--	30	0.50	GC	20.00	--	--		--		28.89
4	174+460	VC-C122	0.08	--	30	0.70	ML	1.60	0.72	GP-GM	20			11.20
5	174+760	VC-C122A	--	--		0.25	SM	21.50	0.8	MH	1.6	0.50	40	9.43
6	175+000	VC-C123A	1.50	--	30	0.00	--		--	--		0.50	40	30.36
7	175+220	VC-C125	1.43	--	30	0.07	ML	1.600	--	--		0.50	40	30.41
8	175+450	VC-C126	1.50	--	30	0.00	--		--	--		--		30.00
9	175+990	VC-C127	0.41	--	30	1.09	SM	21.50	--	--		--		21.93

Figura: Cálculo del CBR compuesto de la subrasante – Metodología usando Geosintéticos

Fuente: Proyecto: "Las Bambas"

CBR 95%MDS	CBR 95%MDS (Ordenado)	N° Valores Mayores o Iguales al CBR	PERCENTIL
7.06 (*)	7.06	9.00	100.00
29.75 (*)	9.43	8.00	83.33
28.89	11.20	7.00	66.67
11.20	21.93	6.00	50.00
9.43 (*)	28.89	5.00	33.33
30.36 (*)	30.00	3.00	16.67
30.41 (*)			
30.00			
21.93			



(\*) Subrasante Mejorada con Material de Cantera (CBR>20%).

Percentil = 75.0%	CBR diseño = 12.43%	CBR promedio = 18.08%
-------------------	---------------------	-----------------------

Figura: Cálculo del CBR de Diseño – Metodología con Geosintéticos

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 9: CÁLCULO DEL REFUERZO Y SEPARACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

### ANEXO 9.1: CÁLCULO DEL REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOMALLAS BIAJIALES Y GEOTEXTEILES PAVCO

**Geosoft Pavco v3.0**

**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Nombre del Proyecto: ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS

Nombre de la Empresa: UNI-FIC

Nombre del Diseñador: WALTER HUGO MELGAREJO VELASQUEZ

Cargo: INGENIERO CIVIL

Localización: PERU Departamento: LIMA Ciudad: LIMA

Otra Ubicación: CALLE 15 MZ V1 LT 18 SAN GENARO, CHORRILLOS

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO  
DISEÑO DE CAMINOS DE BVT

**Geosoft PAVCO**

**Geosoft Pavco v3.0**

**ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS**

**TRÁFICO**

Carga por eje: 80 kN

Presión de inflado: 550 kPa

Número de Repeticiones: 295000

Ahuellamiento Máximo Permitido: 30 mm

**PROPIEDADES SUELO FUNDACIÓN Y RELLENO**

CBR Material Granular (%): 10,0

CBR Subrasante (%): 1,0

Incluir Módulo Subrasante:  Sí  No

Módulo Subrasante: 10,35 MPa

**GEOSINTÉTICOS DE REFUERZO**

- Geomalla Pavco P-BX11
- Geomalla Pavco P-BX12
- Geotextil Tejido

CARGA POR EJE = 2P

MATERIAL GRANULAR

GEOSINTÉTICO DE REFUERZO SUBRASANTE

Figura: Registro de datos personales del diseñador (izquierda) y datos de entrada para el procedimiento de cálculo (derecha).

Fuente: GEOSOFF PAVCO.

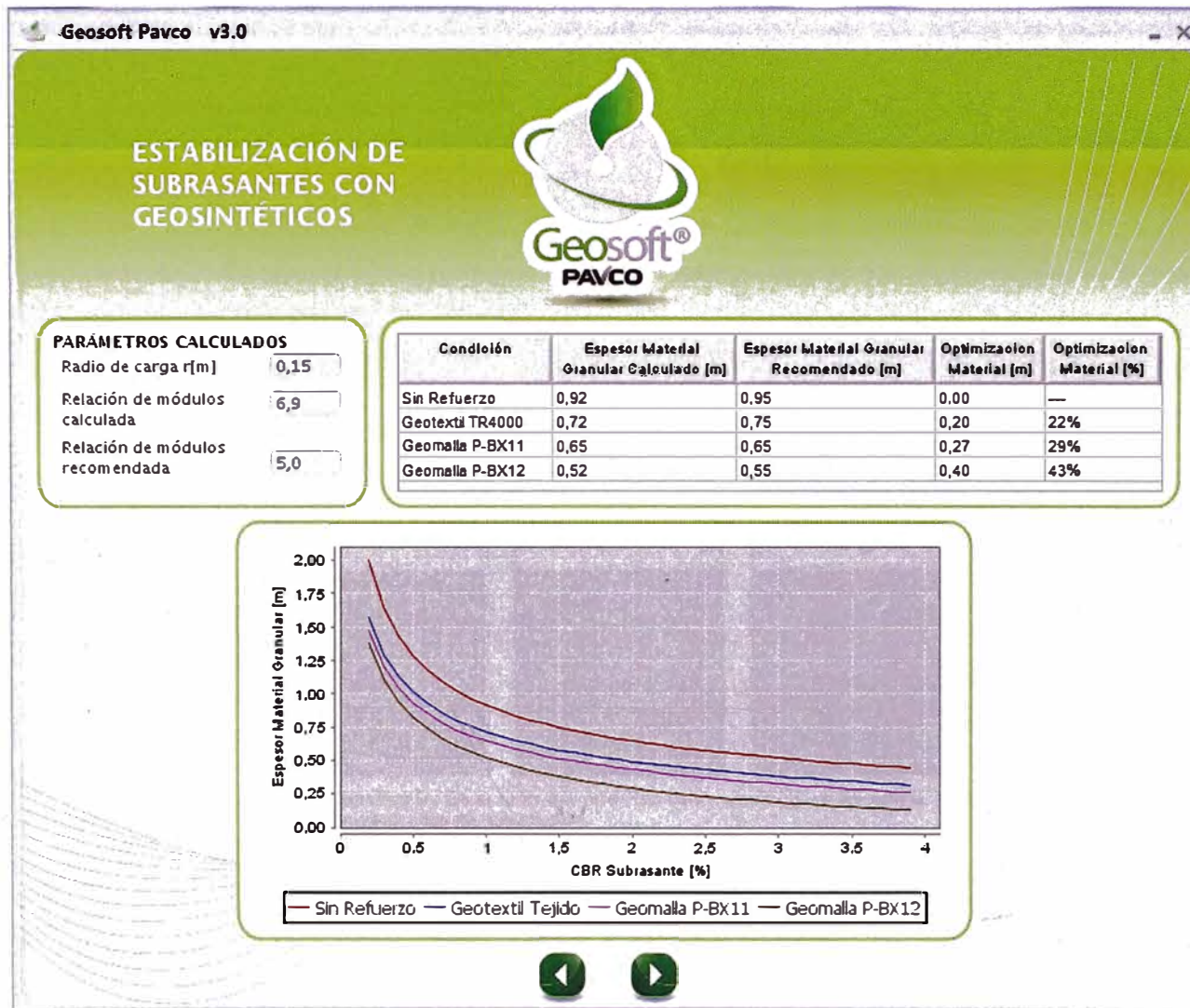


Figura: Cálculo de espesores de refuerzo de subrasantes y geosintéticos de complemento.

Fuente: GEOSOF PAVCO.

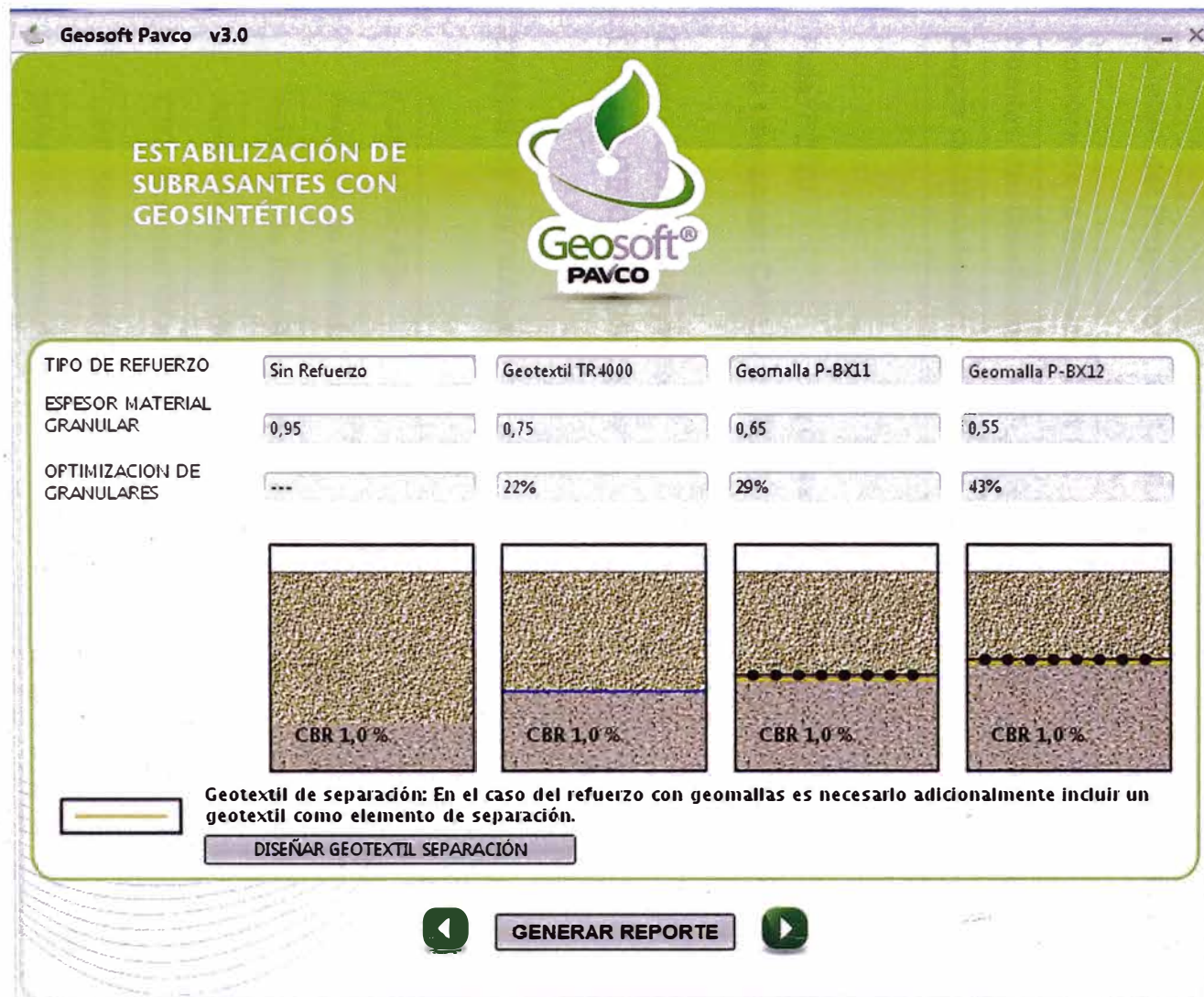


Figura: Gráfica de espesores de refuerzo de subrasantes y geosintéticos de complemento.

Fuente: GEOSOF T PAVCO.



## REPORTE DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOMALLAS BIAXIALES Y GEOTEXTILES

### DATOS DEL PROYECTO

<b>Nombre del Proyecto:</b>	ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS
<b>Nombre de la Empresa:</b>	UNI-FIC
<b>Nombre del Diseñador:</b>	WALTER HUGO MELGAREJO VELASQUEZ
<b>Cargo del Diseñador:</b>	INGENIERO CIVIL

**País:** PERU                      **Departamento:** LIMA                      **Ciudad:** LIMA  
**Otra Ubicación:** CALLE 15 MZ V1 LT 18 SAN GENARO, CHORRILLOS

**Descripción del Proyecto:**  
DISEÑO DE CAMINOS DE BVT

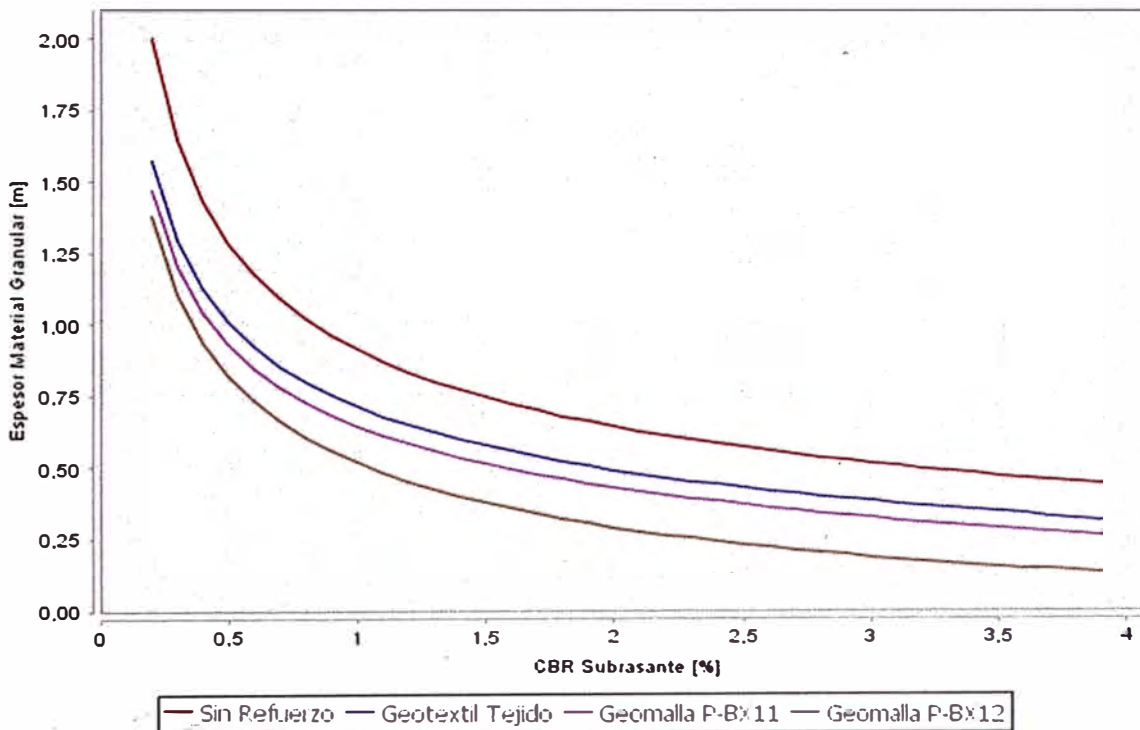
### DATOS DE ENTRADA

<b>Carga Por Eje:</b>	80 kN
<b>Presión de Inflado:</b>	550 kPa
<b>Número de Repeticiones:</b>	295 000
<b>Ahuellamiento Máximo Permitido:</b>	30 mm
<b>CBR Material Granular (%):</b>	10
<b>CBR Subrasante (%):</b>	1
<b>Módulo Subrasante:</b>	10.35 MPa

## PÁRAMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS

Radio de carga, $r[m]$ :	0.152
Relación de módulos calculada:	6.94
Relación de módulos recomendada:	5

Tipo de Refuerzo:	Sin Refuerzo	Geotextil TR4000	Geomalla P-BX11	Geomalla P-BX12
Espesor Material Granular Calculado:	0.92	0.72	0.65	0.52
Espesor Material Granular Recomendado:	0.95	0.75	0.65	0.55
Optimización de Granulares:	0.00%	22%	29%	43%



**Sin Refuerzo**

<b>Tipo de Refuerzo:</b>	Sin Refuerzo
<b>Espesor Material Granular:</b>	0.95
<b>Optimización de Granulares:</b>	0%

**Geotextil TR4000**

<b>Tipo de Refuerzo:</b>	Geotextil TR4000
<b>Espesor Material Granular:</b>	0.75
<b>Optimización de Granulares:</b>	22%

**Geomalla P-BX11**

<b>Tipo de Refuerzo:</b>	Geomalla P-BX11
<b>Espesor Material Granular:</b>	0.65
<b>Optimización de Granulares:</b>	29%

**Geomalla P-BX12**

<b>Tipo de Refuerzo:</b>	Geomalla P-BX12
<b>Espesor Material Granular:</b>	0.55
<b>Optimización de Granulares:</b>	43%

## ANEXO 9.2: CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN DE SUBRASANTES Y BASES GRANULARES CON GEOTEXILES PAVCO

**Geosoft Pavco v3.0**

### SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

**PARÁMETROS DE DISEÑO**

Factor de seguridad global: 2.0  
 Presión de inflado p': 550,0 kPa  
 Factor de seguridad parcial: 2.0  
 Diámetro máximo partículas de agregados (en pulgadas): 2.0

**CRITERIOS MECÁNICOS**

Resistencia al Estallido (Hullen Burst) requerida [kPa]: 1.209,5  
 Resistencia al Punzonamiento [N]: 144,8  
 Resistencia a la Tensión (Grab)  
 Se verifica a través del cumplimiento de:  $FS_g = \frac{T_{util}}{FS_p \times p' \times 10^{-3} (0,33d_p)^2 \times [f (t)]}$   $FS > 1$

**TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE**

Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos del 50%, pasa tamiz #200)  
 Suelos arenosos mal gradados  
 Suelos finos (mas del 50%, pasa tamiz #200)

**Geosoft PAVCO**

### SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

**CRITERIO DE RETENCIÓN**

Usar criterio recomendado  
 TAA < 0,6 mm  
 Definir criterio propio  
 TAA < 0,6

**CRITERIO DE PERMEABILIDAD**

Permeabilidad del suelo de subrasante k(cm/s): 0

**CRITERIO DE SUPERVIVENCIA**

Desear revisar Criterios de Supervivencia (AASHTO M288-05 / Artículo 231-07 Normas INMAS)?  SI  NO

**GEOTEXILES PROPUESTOS**

	Geotextil Tejido T2100	Geotextil No Tejido NT2500
Criterios Mecánicos	Cumple!	Cumple!
Factor de Seguridad Global (GRAB)	Cumple!	Cumple!
Criterio de Retención	Cumple!	Cumple!
Criterio de Permeabilidad	Cumple!	Cumple!

**CHEQUEAR**

Figura: Parámetros de entrada (izquierda) y resultados obtenidos (derecha).

Fuente: GEOSOFT PAVCO.



Figura: Geotextiles tejido y no tejido, obtenidos del cálculo

Fuente: GEOSOF PAVCO

## REPORTE DE SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

### DATOS DEL PROYECTO

<b>Nombre del Proyecto:</b>	ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS
<b>Nombre de la Empresa:</b>	UNI-FIC
<b>Nombre del Diseñador:</b>	WALTER HUGO MELGAREJO VELASQUEZ
<b>Cargo del Diseñador:</b>	INGENIERO CIVIL

**País:** PERU

**Departamento:** LIMA

**Ciudad:** LIMA

**Otra Ubicación:** CALLE 15 MZ V1 LT 18 SAN GENARO, CHORRILLOS

**Descripción del Proyecto:**

DISEÑO DE CAMINOS DE BVT

### PARÁMETROS PARA CHEQUEOS MECANICOS REQUERIDOS

<b>Factor de Seguridad Global:</b>	2.0
<b>Factor de Seguridad Parcial:</b>	2.0
<b>Presión de Inflado:</b>	550 kPa
<b>Diámetro de Partículas de Agregado:</b>	2.0 pulgadas
<b>Tipo de suelo:</b>	Suelos finos (más de 50% pasa tamiz #200)

### PROPIEDADES HIDRÁULICAS REQUERIDAS

<b>Permeabilidad Suelo Fundación:</b>	0.0 cm/s
<b>TAA &lt;=</b>	0.6
<b>TAA Geotextil Tejido</b>	0.3
<b>TAA Geotextil No Tejido</b>	0.15

### PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS

<b>Resistencia al Punzonamiento Requerida:</b>	144.8 N
<b>Resistencia al Estallido Requerida:</b>	1 209.5 N
<b>¿Se revisó criterio de supervivencia?:</b>	SI
<b>Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil Tejido:</b>	5.8
<b>Factor de Seguridad Global Calculado Geotextil no Tejido:</b>	4.5

### GEOTEXTILES RECOMENDADOS

<b>Geotextil Tejido:</b>	T 2100
<b>Geotextil No Tejido:</b>	N T2500

## ANEXO 9.3: CÁLCULO DEL REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOMALLAS BIAXIALES Y GEOTEXTIL - TENSAR INTERNATIONAL

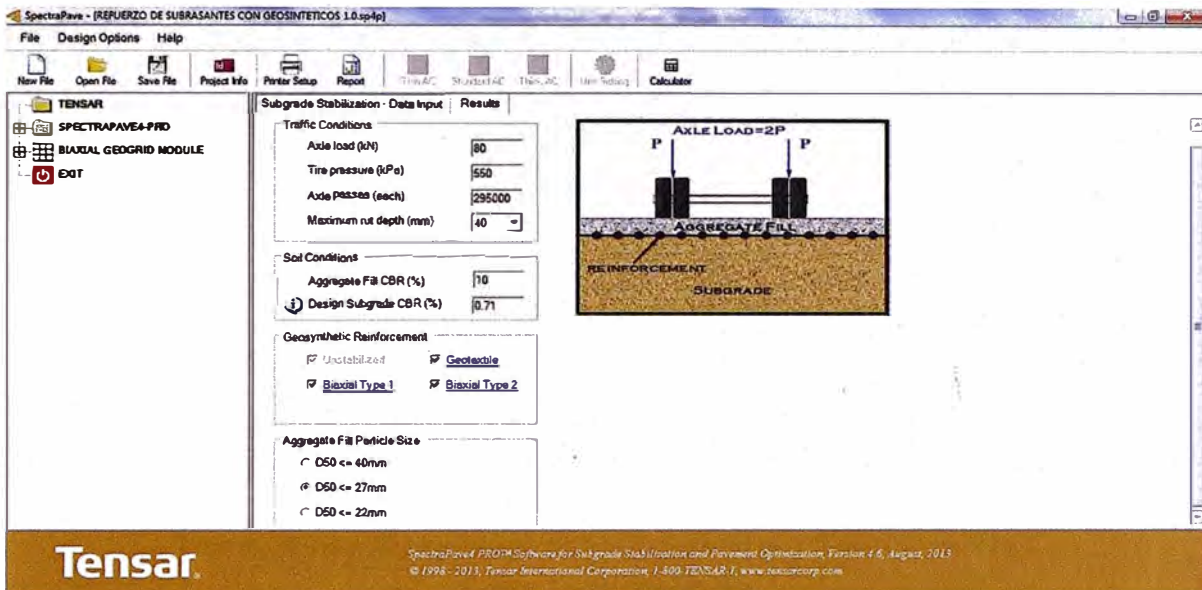


Figura: Datos de entrada para el procedimiento de cálculo.

Fuente: Tensar International.

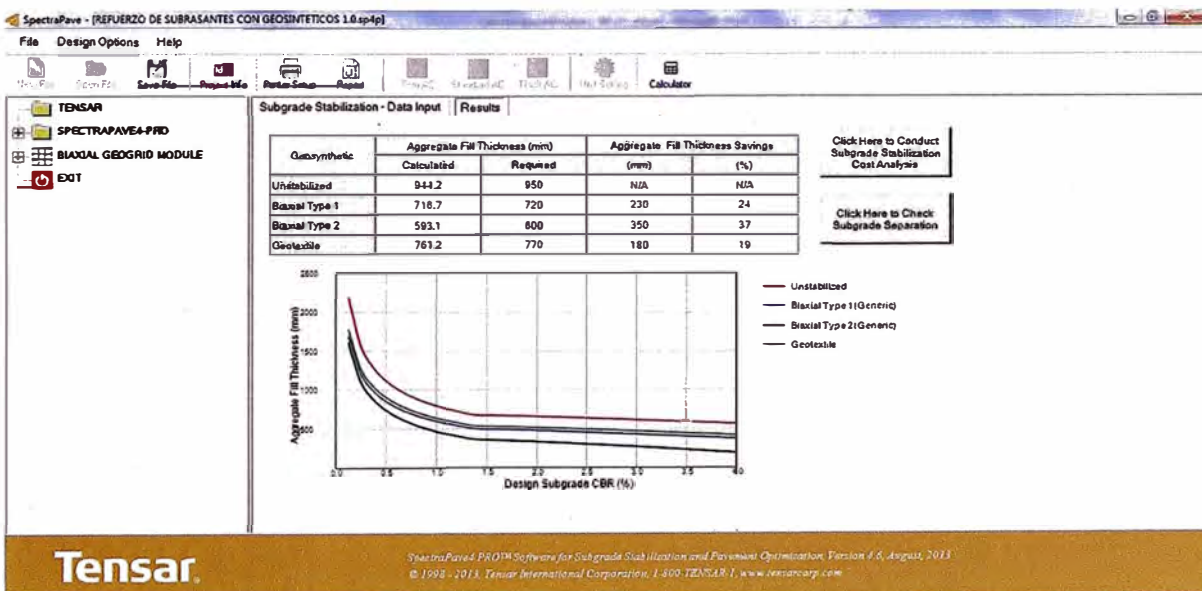


Figura: Espesores de refuerzo de subrasantes obtenidos para cada tipo de geomalla y geotextil de complemento.

Fuente: Tensar International.



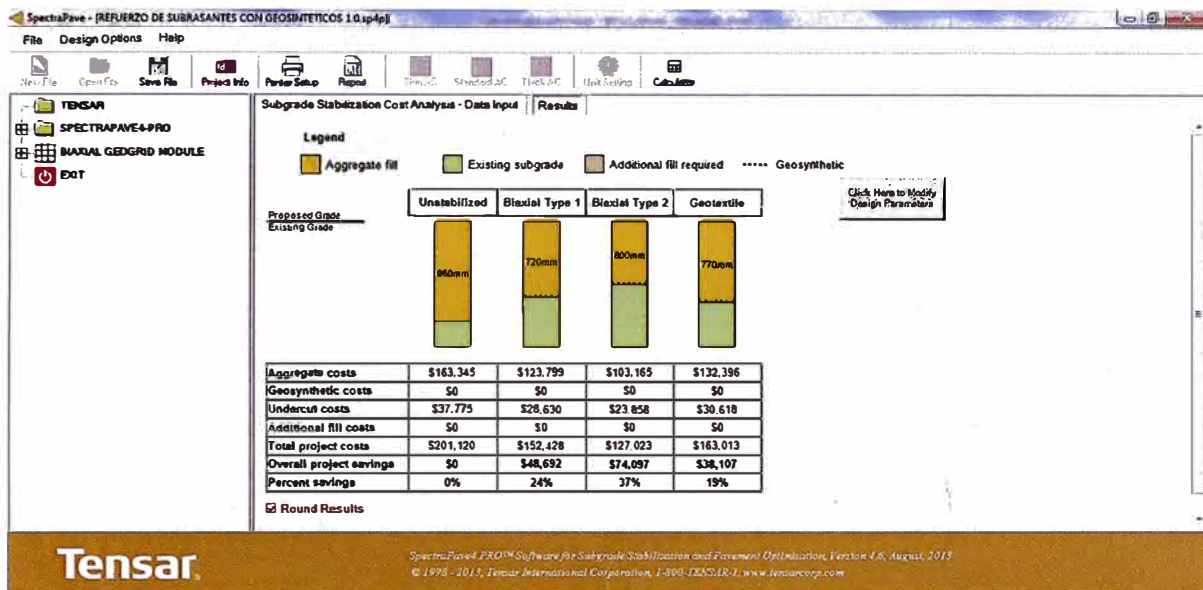


Figura: Gráfica de espesores de base granular de refuerzo obtenidos.

Fuente: Tensar International.

## REPORTE DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOMALLAS BIAXIALES Y GEOTEXTILES



### Subgrade Stabilization Design Analysis

#### DESIGN PARAMETERS

##### DESIGN REQUIREMENTS

Property	Value
Axle Load (kN)	80
Tire Pressure (kPa)	550
Axle Passes (Each)	295000
Maximum Rut Depth (mm)	40

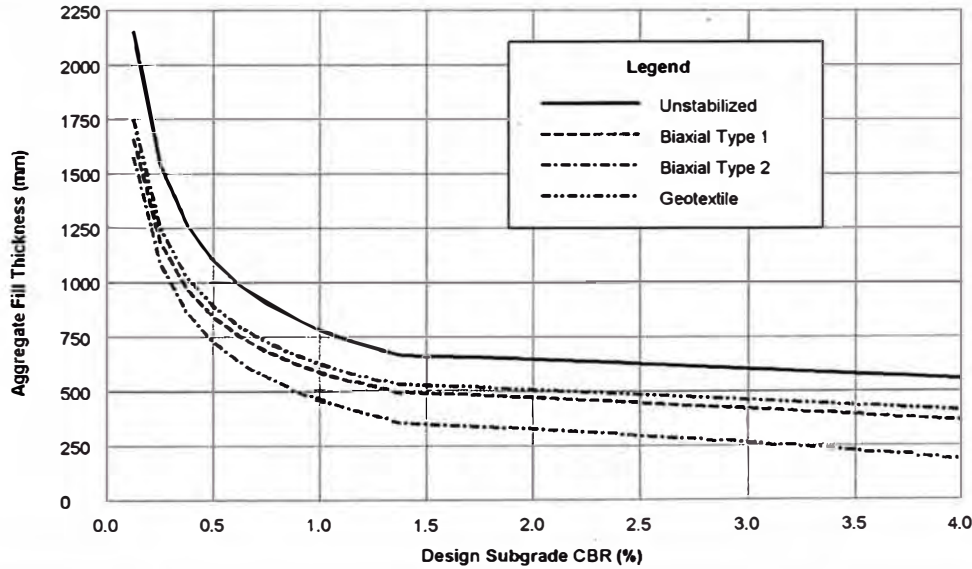
##### PAVEMENT SOIL PROPERTIES

Property	Value
Aggregate Fill CBR (%)	10
Design Subgrade CBR (%)	0.71

Aggregate fill particle size: D50 ≤ 27mm

#### RESULTS

Geosynthetic	Aggregate Fill Thickness (mm)		Aggregate Fill Thickness Savings (mm)	
	Calculated	Required	(mm)	(%)
Unstabilized	944.2	950	N/A	N/A
Biaxial Type 1	716.7	720	230	24
Biaxial Type 2	593.1	600	350	37
Geotextile	761.2	770	180	19



Project Name	REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS 2		
Company Name	Tensar		
Designer	WHMELGAREJOV	Date	08/02/2014

This document was prepared using SpectraPave4 PRO™ Software Version 4.6  
Developed by Tensar International Corporation  
Copyright 1998 - 2013. All Rights Reserved.



**Subgrade Stabilization Cost Analysis**

**COST ANALYSIS PARAMETERS**

**PROJECT SIZE**

Length(m)	760
Width (m)	8

**TOP SURFACE CONSTRAINT**

Fixed top grade above existing formation level (mm)	0
Undercut and removal cost (\$/Tonne)	3.07
Cost of additional fill to bring pavement up to desired level (\$/Tonne)	9.21

**AGGREGATE INFORMATION**

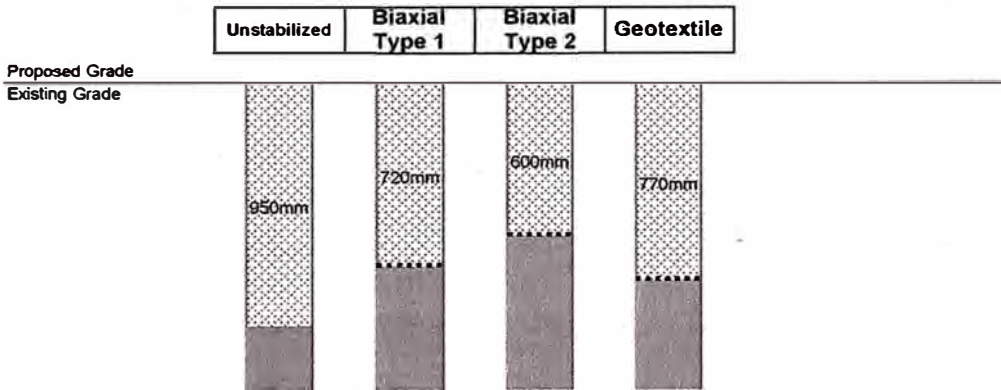
Total in place cost (\$/Tonne)	18.70
--------------------------------	-------

**GEOSYNTHETIC INFORMATION**

	BX Type 1	BX Type 2	Geotextile
Material Cost (\$/sq.m)	0.00	0.00	0.00
Roll Width (m)	4.0	4.0	13.1
Installation Cost (\$/sq.m)	0.00	0.00	0.00
Minimum Overlap (m)	1.0	1.0	1.0

**RESULTS**

**Legend:** [Aggregate fill] Aggregate fill [Existing subgrade] Existing subgrade [Additional fill required] Additional fill required [Geogrid/Geotextile] Geogrid/Geotextile



	Unstabilized	Biaxial Type 1	Biaxial Type 2	Geotextile
Aggregate costs	\$163,345	\$123,799	\$103,165	\$132,396
Geosynthetic costs	\$0	\$0	\$0	\$0
Undercut costs	\$37,775	\$28,630	\$23,858	\$30,618
Additional fill costs	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>Total project costs</b>	<b>\$201,120</b>	<b>\$152,428</b>	<b>\$127,023</b>	<b>\$163,013</b>
<b>Overall project savings</b>	<b>\$0</b>	<b>\$48,692</b>	<b>\$74,097</b>	<b>\$38,107</b>
<b>Percent savings</b>	<b>0%</b>	<b>24%</b>	<b>37%</b>	<b>19%</b>

Project Name	REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS 2		
Company Name	Tensor		
Designer	WHMELGAREJOV	Date	08/02/2014

This document was prepared using SpectraPave4 PRO™ Software Version 4.6  
Developed by Tensor International Corporation  
Copyright 1998 - 2013, All Rights Reserved.

## ANEXO 9.4: CÁLCULO DEL REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOMALLAS TRIAXIALES - TENSAR INTERNATIONAL

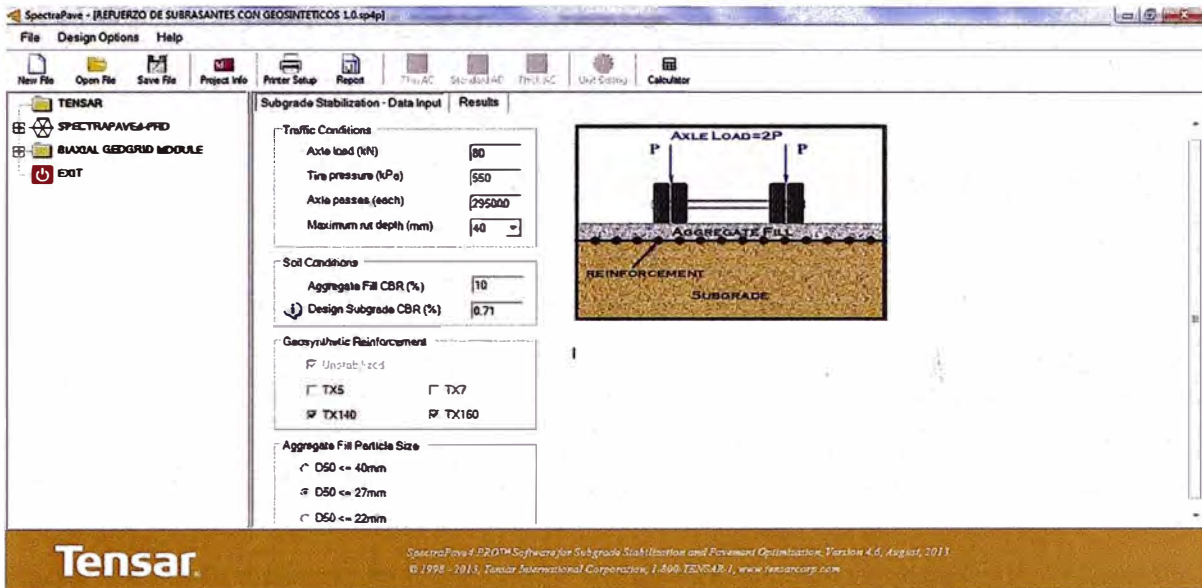


Figura: Datos de entrada para el procedimiento de cálculo.

Fuente: Tensar International.

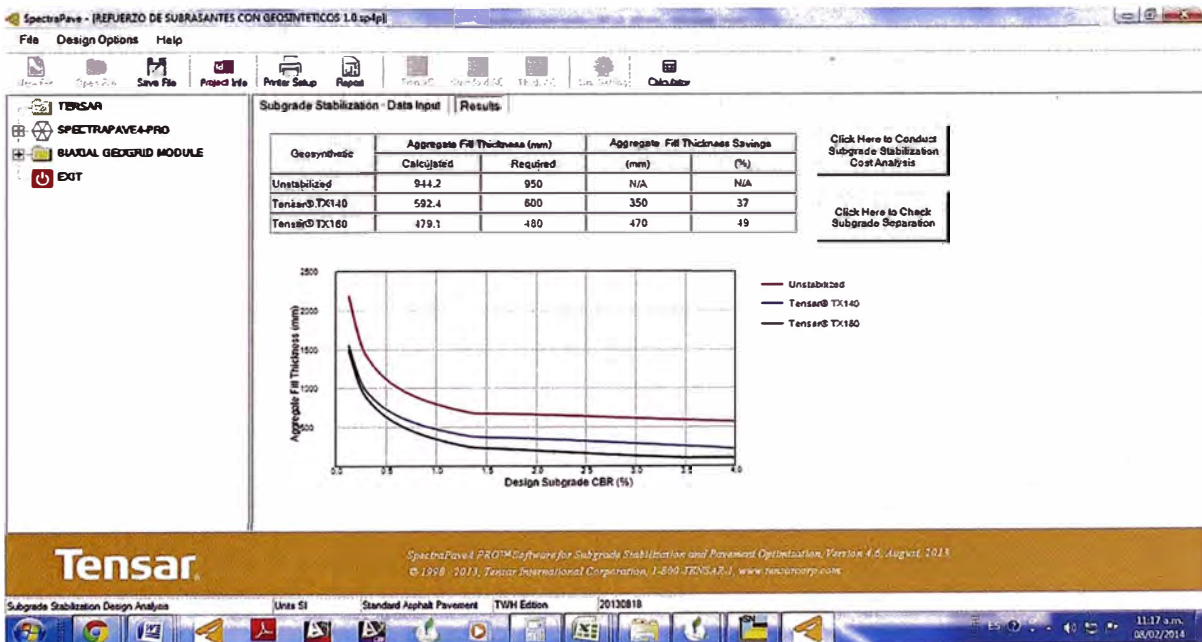


Figura: Espesores de refuerzo de subrasantes obtenidos para cada tipo de geomalla triaxial (TX 140 ó TX 160) de complemento.

Fuente: Tensar International.

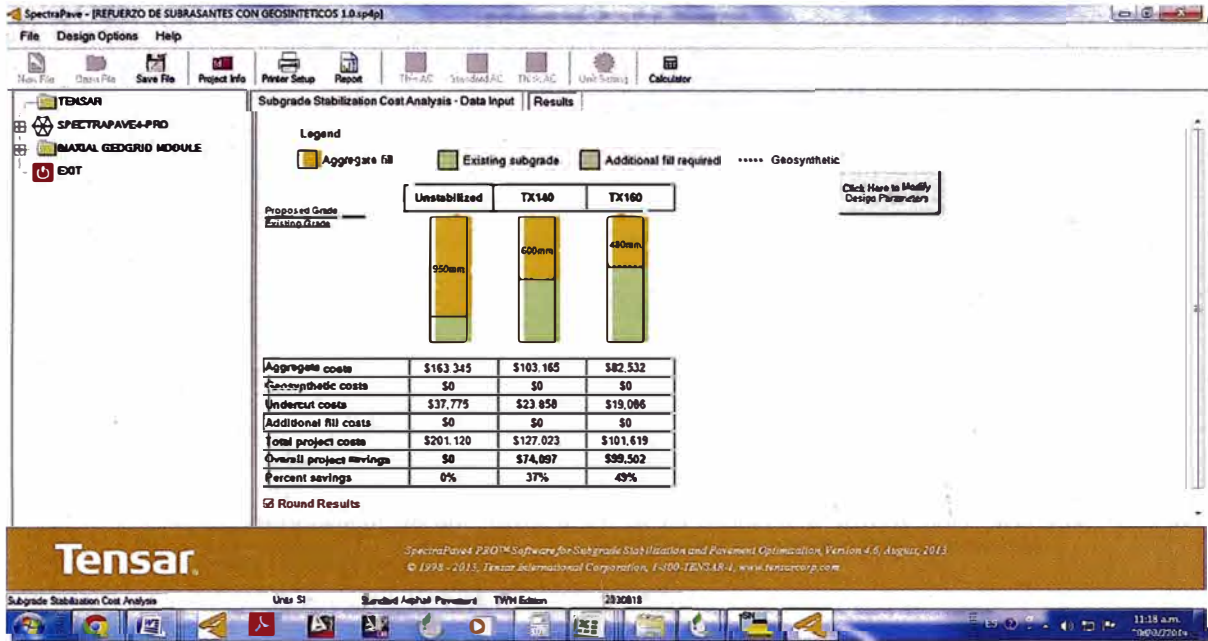




Figura: Gráfica de espesores de base granular de refuerzo obtenidos para cada tipo de geomalla triaxial.

Fuente: Tensar International.

## REPORTE DE ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES CON GEOMALLAS TRIAXIALES



**SpectraPave4 PRO™**  
**Subgrade Stabilization Design Analysis**



---

**DESIGN PARAMETERS**

**DESIGN REQUIREMENTS**

Property	Value
Axle Load (kN)	80
Tire Pressure (kPa)	550
Axle Passes (Each)	295000
Maximum Rut Depth (mm)	40

**PAVEMENT SOIL PROPERTIES**

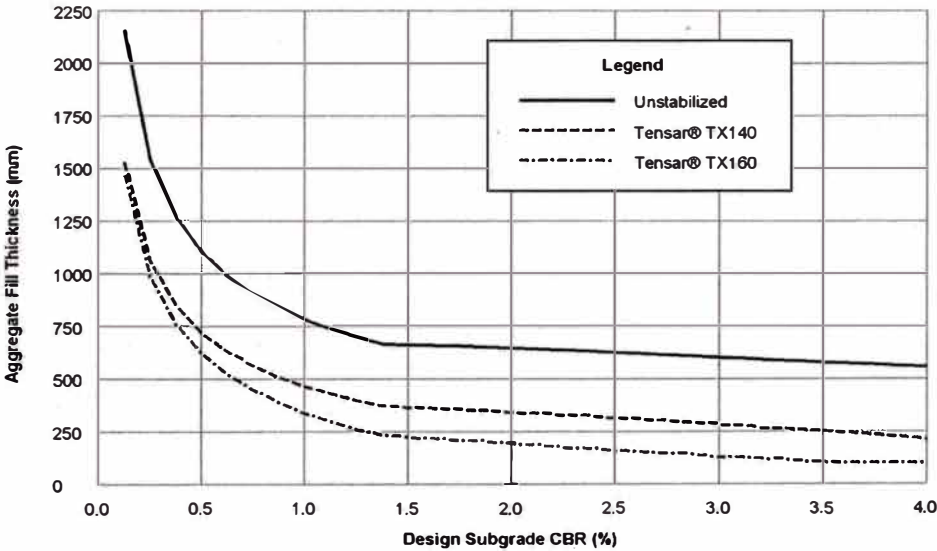
Property	Value
Aggregate Fill CBR (%)	10
Design Subgrade CBR (%)	0.71

Aggregate fill shall conform to following requirement:  
D50 ≤ 27mm

---

**RESULTS**

Geosynthetic	Aggregate Fill Thickness (mm)		Aggregate Fill Thickness Savings (mm)	
	Calculated	Required	(mm)	(%)
Unstabilized	944.2	950	N/A	N/A
TX140	592.4	600	350	37
TX160	479.1	480	470	49



**Legend**

- Unstabilized
- - - Tensor® TX140
- · - · Tensor® TX160

Project Name	REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS		
Company Name	Tensor		
Designer	WHMELGAREJOV	Date	08/02/2014

Printed on 02-Aug-2014 C:\Tensor\Internacional\Coporaque\SpectraPave4 PRO\REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS 1.0.ppt

This document was prepared using SpectraPave4 PRO™ Software Version 4.6  
Developed by Tensor International Corporation  
Copyright 1998 - 2013. All Rights Reserved.



**SpectraPave4 PRO™  
Subgrade Stabilization Cost Analysis**



**COST ANALYSIS PARAMETERS**

**PROJECT SIZE**

Length(m)	760
Width (m)	8

**AGGREGATE INFORMATION**

Total in place cost (\$/Tonne)	18.70
--------------------------------	-------

**TOP SURFACE CONSTRAINT**

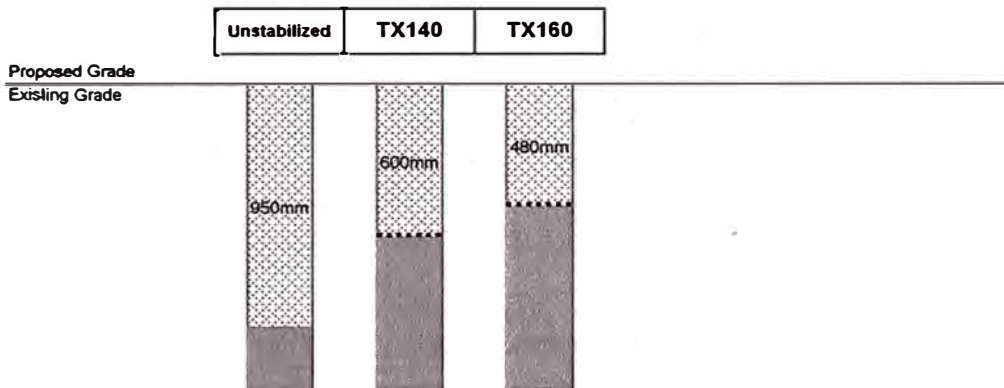
Fixed top grade above existing formation level (mm)	0
Undercut and removal cost (\$/Tonne)	3.07
Cost of additional fill to bring pavement up to desired level (\$/Tonne)	9.21

**GEOSYNTHETIC INFORMATION**

	TX140	TX160
Material Cost (\$/sq.m)	0.00	0.00
Roll Width (m)	4.0	4.0
Installation Cost (\$/sq.m)	0.00	0.00
Minimum Overlap (m)	1.0	1.0

**RESULTS**

**Legend:** Aggregate fill Existing subgrade Additional fill required Geogrid/Geotextile



	Unstabilized	TX140	TX160
Aggregate costs	\$163,345	\$103,165	\$82,532
Geosynthetic costs	\$0	\$0	\$0
Undercut costs	\$37,775	\$23,858	\$19,086
Additional fill costs	\$0	\$0	\$0
Total project costs	\$201,120	\$127,023	\$101,619
Overall project savings	\$0	\$74,097	\$99,502
Percent savings	0%	37%	49%

Printed on 02/08/2014 C:\Tensar\Internacional\Corporacion\SpectraPave4\PRO-REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS 1.0.sp4p

Project Name	REFUERZO DE SUBRASANTES CON GEOSINTÉTICOS		
Company Name	Tensar		
Designer	WHMELGAREJOV	Date	08/02/2014

This document was prepared using SpectraPave4 PRO™ Software Version 4.6  
Developed by Tensar International Corporation  
Copyright 1998 - 2013, All Rights Reserved.

**Cuadro: Resumen de resultados obtenidos de espesores de material granular, tipos de geotextiles y geomallas**

<b>GEOSINTÉTICOS PAVCO</b>			
<b>Tipo de Refuerzo</b>	<b>Espesor Calculado (m)</b>	<b>Espesor Requerido (m)</b>	<b>Optimización de recursos (%)</b>
Sin refuerzo	0.92	0.95	0
Geotextil Tejido TR4000	0.72	0.75	22
Geomalla P-BX11	0.65	0.65	29
Geomalla P-BX12	0.52	0.55	43
<b>Tipo de Separación</b>		<b>Geotextil recomendado</b>	
Geotextil Tejido		T 2100	
Geotextil No Tejido		NT 2500	
<b>GEOSINTÉTICOS TENSAR</b>			
<b>Tipo de Refuerzo</b>	<b>Espesor Calculado (m)</b>	<b>Espesor Requerido (m)</b>	<b>Optimización de recursos (%)</b>
Sin refuerzo	0.94	0.95	0
Geotextil Tejido	0.76	0.80	19
Geomalla BX Type 1	0.72	0.75	24
Geomalla BX Type 2	0.59	0.60	37
Geomalla TX140	0.59	0.60	37
Geomalla TX160	0.48	0.50	49

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro: Materiales a tomar en cuenta para el diseño final**

<b>GEOSINTÉTICOS PAVCO</b>			
<b>Tipo de Refuerzo</b>	<b>Espesor Calculado (m)</b>	<b>Espesor Requerido (m)</b>	<b>Optimización de recursos (%)</b>
Geomalla P-BX12	0.52	0.55	43
<b>Tipo de Separación</b>		<b>Geotextil recomendado</b>	
Geotextil No Tejido		NT 2500	
<b>GEOSINTÉTICOS TENSAR</b>			
<b>Tipo de Refuerzo</b>	<b>Espesor Calculado (m)</b>	<b>Espesor Requerido (m)</b>	<b>Optimización de recursos (%)</b>
Geomalla BX Type 2	0.59	0.60	37
Geomalla TX160	0.48	0.50	49

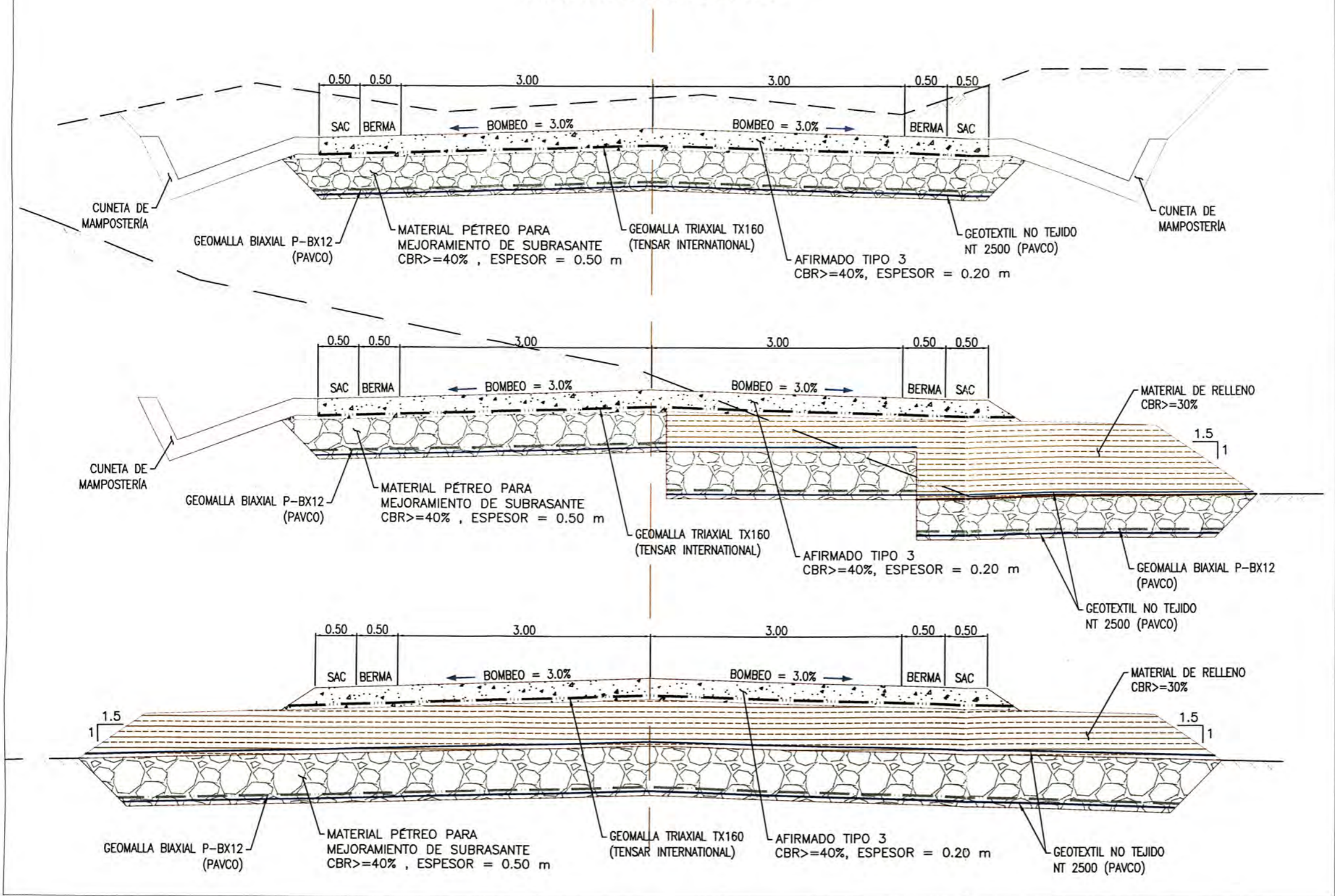
Fuente: Elaboración propia



## **ANEXO 10: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO DE LA VARIANTE COPORAQUE**

### SECCIÓN TÍPICA PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS BLANDOS CON USO DE GEOSINTÉTICOS (GEOMALLAS BIAXIALES, TRIAXIALES Y GEOTEXTEILES)

Km 173+800.00 al Km 174+145.00  
Km 174+460.00 al Km 175+250.00



#### LEYENDA

- SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
- LINEA DE DISEÑO
- SUPERFICIE DE FUNDACIÓN
- GEOMALLA TRIAXIAL TX160 (TENSAR INTERNATIONAL)
- GEOMALLA BIAxIAL P-BX12 (PAVCO)
- GEOTEXTIL NO TEJIDO NT 2500 (PAVCO)
- AFIRMADO TIPO 3
- TERRAPLÉN MATERIAL DE RELLENO
- MATERIAL PÉTRICO PARA MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE

- #### NOTAS:
1. SE UTILIZARÁ GEOTEXTIL NO TEJIDO NT 2500 (PAVCO), YA SEA PARA SEPARAR LA SUBRASANTE DE LOS MATERIALES GRANULARES DE MEJORAMIENTO DE LA MISMA, COMO PARA SEPARAR DICHOS MATERIALES DE LAS CAPAS SUPERIORES DE PAVIMENTO.
  2. SE COLOCARÁ LA GEOMALLA P-BX12 (PAVCO) SOBRE EL GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN, ANTES DE COLOCAR LA CAPA DE MATERIAL DE MEJORAMIENTO, CON LA FINALIDAD DE QUE SIRVA COMO REFUERZO A LA SUBRASANTE BLANDA.
  3. EL MATERIAL PÉTRICO PARA MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE TENDRÁ UN CBR>=40% Y UN ESPESOR DE 0.50 m.
  4. EL MATERIAL DE RELLENO PARA LA CONFORMACIÓN DEL TERRAPLÉN EN ZONAS DE RELLENO TENDRÁ UN CBR>=30% Y UN ESPESOR VARIABLE DE ACUERDO A LO INDICADO EN LOS PLANOS DE DISEÑO VÁL.
  5. SE UTILIZARÁ LA GEOMALLA TX160 (TENSAR INTERNATIONAL) SOBRE EL TERRAPLÉN DE RELLENO O SOBRE EL MATERIAL DE MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE, ANTES DE LA COLOCACIÓN DE LA CAPA DE RODADURA.
  6. LA CAPA DE RODADURA SERÁ DE AFIRMADO TIPO 3, CON CBR>=40% Y TENDRÁ UN ESPESOR DE 0.20 m.

NOTA :  
1.- LA ESCALA INDICADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE

**PERÚ**  
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 CURSO DE TITULACIÓN 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
 TITULACIÓN POR LA MODALIDAD DE:  
 ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS 2013  
 INFORME DE SUFFICIENCIA:  
 DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CVT  
 AUTOR: MELGAREJO VELASQUEZ WALTER  
 CÓDIGO UNI: 20044024G

REVISIONES	
N°	FECHA DESCRIPCIÓN
1	06/01/14 EMITIDO PARA REVISIÓN DE 30%
2	21/02/14 EMITIDO PARA APROBACIÓN DE 100%
3	14/03/14 EMITIDO PARA APROBACIÓN FINAL

APLICACIÓN DE LA GUÍA AASHTO 93 PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO CON GEOSINTÉTICOS EN LA CARRETERA: VARIANTE COPORAQUE (2.2 Km)  
 CÓDIGO UNI-FIC N° 20044024G

PLANO: SECCIONES TÍPICAS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	ESCALA: 1:25
UBICACIÓN: Km 173+800.00 - Km 176+000.00	FECHA: MARZO 2014
	PLANO N°: UNI-FIC-2013-VC-ST-002
	REV. 3

C:\USERS\WALTER\Desktop\CURSO DE TITULACION 2013\UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - VC-ST-002\UNIC 08/10/14 - 2023

PARÁMETROS	SECTOR A	SECTOR B	SECTOR C
	L=345m	L=420m	L=370m
Progresivas	173+800 – 174+145	174+460 – 174+880	174+880 – 175+250
<b>MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE – GEOSINTÉTICOS</b>			
CBR Material Granular (%)	10	10	10
CBR Subrasante (%)	1	1	1
<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA</b>			
Superficie de Rodadura (cm)	20	20	20
Material de relleno (CBR ≥ 30%)	Colocado en zonas donde la subrasante de la carretera esta sobre terreno a media ladera y en zonas completamente en relleno.		
Reemplazo de Material CBR ≥ 10%	50	50	50
<b>Total (cm)</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
<b>Geomalla Triaxial TX160 (TENSAR INTERNATIONAL)</b>	Refuerzo de la capa de rodadura, colocado antes de la descarga del material de afirmado sobre capa de material de relleno o material de mejoramiento de subrasante de suelo blando (línea de color negro punteado superior).		
<b>Geomalla P-BX12 (PAVCO)</b>	Refuerzo o mejoramiento de subrasante de suelo blando, colocado sobre el geotextil (línea de color negro punteado inferior)		
<b>Geotextil No Tejido NT 2500 (PAVCO)</b>	Separación en la interfaz subrasante – capa granular de mejoramiento, y capas de relleno (línea de color azul en la figura).		

**Figura: Estructura del pavimento de la Variante Coporaque**

Fuente: Elaboración propia