



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“Los Geosintéticos Aplicados a Obras de  
Pavimento Flexible”**

**INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Previa a la Obtención del Título de:

**INGENIEROS CIVILES**

**Presentado por**

**Javier Armando Campaña Minchong**

**Wilson Andrés Mata Pillajo**

**Xavier Vicente Mendoza Cedeño**

Guayaquil - Ecuador

2011

# Agradecimiento

Agradecidos y contentos nos sentimos, principalmente con DIOS TODO PODEROSO, que nos permitió llegar a la cúspide más grande y deseada por todos nosotros la cual es finalizar nuestra carrera profesional.

A nuestros queridos docentes, de manera especial a los INGENIEROS EDUARDO SANTOS, GASTON PROAÑO, PAUL CARRION, JULIO GARCIA, IGNACIO GOMEZ DE LA TORRE quienes con sus conocimientos sabiamente llegaron hasta nosotros.

De todos corazón GRACIAS A ELLOS POR SU PACIENCIA Y DEDICACION.

# Dedicatoria

A mi padre, a mi madre, a mi hermano y a mis amigos, quienes con sus sabios consejos me supieron ayudar en todo momento a llegar a la meta más grande de mi vida que es finalizar mi carrera profesional de la mejor manera posible.

Wilson Andrés Mata Pillajo.

A mi madre, Sonia Minchong Díaz, a mi padre, a mis hermanos, a mis abuelitas, quienes siempre están apoyándome en todos los momentos de mi vida.

Javier Campaña Minchong.

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta

Xavier Mendoza Cedeño.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Paul Carrión.  
DECANO DE LA FICT.

E

---

Ing. Eduardo Santos B.  
DIRECTOR DEL PROYECTO  
SUD-DECANO DE LA FICT.

---

Ing. Ignacio Gomez de la Torre.

VOCAL

# INDICE

## **Introducción**

### **Objetivos:**

- Objetivos generales
- Objetivos específicos

## **Justificación**

### **Capítulo 1:** Los Geosintéticos Aplicados a Obras de Pavimento Flexible

#### 1.1 Aspectos generales

#### 1.2 Clasificación de los geosintéticos

##### 1.2.1 Geotextiles

###### 1.2.1.1 Características de los Geotextiles

###### 1.2.1.2 Funciones de los Geotextiles

###### 1.2.1.3 Tipos de Geotextiles

###### 1.2.1.4 Aplicaciones de los Geotextiles

##### 1.2.2 Geomallas

###### 1.2.2.1 Características de las Geomallas

###### 1.2.2.2 Funciones de las Geomallas

###### 1.2.2.3 Tipos de Geomallas

###### 1.2.2.4 Aplicaciones de las Geomallas

##### 1.2.3 Georedes

###### 1.2.3.1 Características de las Georedes

###### 1.2.3.2 Funciones de las Georedes

###### 1.2.3.3 Tipos de Georedes

###### 1.2.3.4 Aplicaciones de las Georedes

- 1.2.4 Geomembranas
  - 1.2.4.1 Características de las Geomembranas
  - 1.2.4.2 Tipos de las Geomembranas
  - 1.2.4.3 Funciones de las Geomembranas
  - 1.2.4.4 Aplicaciones de las Geomembranas
- 1.2.5 Geoceldas
  - 1.2.5.1 Características de las Geoceldas
  - 1.2.5.2 Funciones de las Geoceldas
  - 1.2.5.3 Tipos de Geoceldas
  - 1.2.5.4 Aplicaciones de las Geoceldas
- 1.3 Introducción al uso de los Geosintéticos
- 1.4 Características de los Geosintéticos empleados en pavimento flexible
- 1.5 Introducción a las geomallas para pavimentos flexibles
  - 1.5.1 Clasificación
  - 1.5.2 Proceso de fabricación
  - 1.5.3 Funciones y aplicaciones
- 1.6 Normas, ensayos y especificaciones técnicas de elaboración de Geomallas

## **Capítulo 2: Pavimentos**

- 2.1 Aspectos generales
- 2.2 Capas de un pavimento
  - 2.2.1 Superficie de rodamiento
    - 2.2.2 Base
    - 2.2.3 Sub-Base
      - 2.2.3.1 Característica de la Sub-Base
    - 2.2.4 Sub-rasante
- 2.3 Tipos de pavimento
  - 2.3.1 Pavimento rígido

## 2.3.2 Pavimento Flexible

### 2.3.2.1 Capas de un pavimento flexible

### 2.3.2.2 Duración de un pavimento flexible

### 2.3.2.3 Finalidad de un pavimento flexible

### 2.3.2.4 Ventajas y desventajas de un Pavimento Flexible

## 2.3.3 Pavimento articulado o de adoquines

# **Capítulo 3: Refuerzo en carreteras con Geomallas Biaxiales**

## 3.1 Introducción

## 3.2 Mecanismo de refuerzo generados por Geomallas

### 3.2.1 Confinamiento lateral de la base o sub-base

### 3.2.2 Mejoramiento de la capacidad portante

### 3.2.3 Membrana tensionada

## 3.3 Ensayo de estructura reforzada con geomalla biaxial coextruida

## 3.4 Geomalla Tenax

## 3.5 Geomalla Tensar

### 3.5.1 Características principales de la geomalla tensar

### 3.5.2 Diseño para mejorar la sub-rasante

### 3.5.3 Diseño para mejorar la base

## 3.6.- Metodo AASHTO para Diseño Pavimentos Flexibles

### 3.6.1 Desviación estándar

### 3.6.2 Número estructural indicativo del espesor total requerido de Pavimento (SN)

### 3.6.3 Coeficientes estructurales

### 3.6.4 Coeficientes de drenaje (mi)

### 3.6.5 Diferencia entre el índice de servicialidad inicial, $po$ , y el índice De servicialidad terminal de diseño, $pt$ (PSI)

### 3.6.6 Módulo de resiliencia, en PSI, del material de sub-rasante (MR)

3.7 Método AASHTO para diseño de pavimentos flexibles reforzado con geomallas coextruídas

## **Capítulo 4:** Análisis comparativo de costos de ambos diseños

4.1 Costo de pavimento flexible sin geomalla

4.2 Costo de pavimento flexible utilizando geomalla

**5:** Análisis

**6:** Conclusiones

**7:** Recomendaciones

**8:** Bibliografía



En varios casos los geosintéticos han sido una de las soluciones más exitosas, en ciertos casos por la falta de conocimiento y de una mejor metodología de diseño que permita definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo a las condiciones particulares que se necesite para los diferentes proyectos, no se ha permitido que los beneficios de esta tecnología sean aprovechados en su totalidad.

La aplicación eficaz de los geosintéticos, promueve sus capacidades y formulas de diseño preliminares que permitan definir requerimientos técnicos que se necesite de acuerdo al tipo de obra. Como resultado de todo este proceso, se muestra a la Ingeniería ciertas metodologías de diseño para separación y estabilización de vías de acceso, 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.

En el presente trabajo se pretende demostrar de una forma técnica, que tanto podemos distribuir los recursos a la hora de construir una carretera, en este caso con el uso de geomallas. Este trabajo se centra en la descripción de la metodología de diseño de permitir usar el geosintético llamado GEOMALLA, procedimiento que por años ha sido técnico y normalizado para su utilización incluso, en suelos y condiciones climáticas tan difíciles como los que tiene nuestro país Ecuador en las cuatro regiones.

## **Objetivos**

- **Objetivos Generales.**

Presentar una metodología innovadora para diseñar un pavimento flexible utilizando geomallas y demostrar sus ventajas económicas y de optimización de recursos.

Hacer una descripción de los elementos que integran un pavimento flexible y un método de diseño.

- **Objetivos Específicos.**

Establecer como alternativa principal elemento de los diseños de pavimento la geomalla.

Describir, analizar y evaluar los materiales utilizados en la construcción del pavimento flexible.

## **Justificación**

Con el uso de pavimentos flexibles utilizando geomallas se pretende solucionar las complicaciones que resultan de construir carreteras sobre sub-rasantes de mala calidad y aquellos problemas que nos daría el no disponer de material adecuado en las canteras proponiendo el uso de las geomallas con espesores menores que brinden igual capacidad estructural y económicamente más factible.

# Capítulo 1

## Los Geosintéticos Aplicados a Obras de Pavimento Flexible

### **1.1 Aspectos Generales**

GEOSINTÉTICO es un producto en el que, por lo menos uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lámina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otros materiales dentro del campo de la geotecnia o de la ingeniería civil.

Existen varios campos de aplicación de los geosintéticos en el ámbito de la construcción de obras civiles y la edificación como son:

- Obras Civiles.
- Obras Hidráulicas.
- Sistemas de Control de Erosión.
- Aplicaciones Medioambientales.

La fabricación de los geosintéticos comprende procedimientos de extrusión, tecnología textil o sino una combinación de los 2 procesos mencionados es decir: TEXTIL Y PLÁSTICA.

Los GEOSINTÉTICOS se derivan de fibras artificiales, compuestos básicos de polímeros como:

- Polipropileno
- Poliéster
- Poliamida
- Polietileno

Siendo las 2 primeras las de mayor utilización en el proceso de la CONSTRUCCIÓN.

## 1.2 Clasificación de los Geosintéticos

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la INGENIERÍA son los:

- Geotextiles
- Geomallas
- Geomembranas
- Georedes

### 1.2.1 Geotextiles

Los GEOTEXTILES son telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros en sustitución de agregados graduados, como estabilizadores de suelos blandos y como elementos para sustituir la erosión de suelos y el acarreo de azolves.

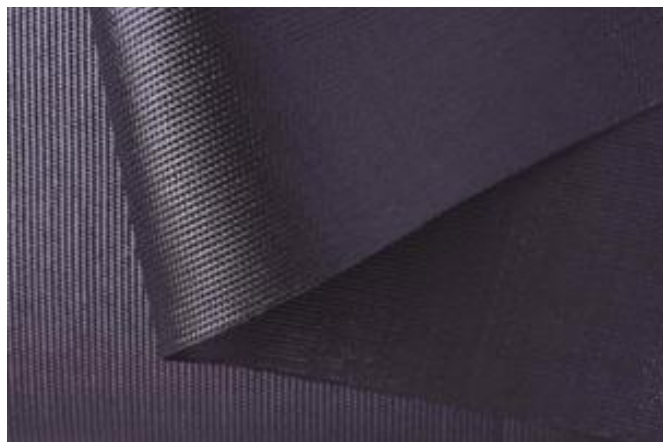


Figura 1.1 Geotextil.

Se definen como “un material textil plano, permeable polimérico (Sintético o natural) que puede ser No Tejido, Tejido o tricotado y

1 \* [http://www.geosinteticos.com/paginas\\_pivaltec/04\\_1\\_geotextiles.html](http://www.geosinteticos.com/paginas_pivaltec/04_1_geotextiles.html)

que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas”.

### 1.2.1.1 Características de geotextiles

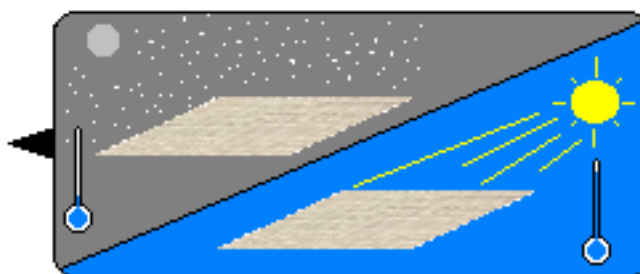
*Resistencia a la tensión:* El geotextil puede absorber esfuerzos producidos en estructuras sometidas a carga

*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.



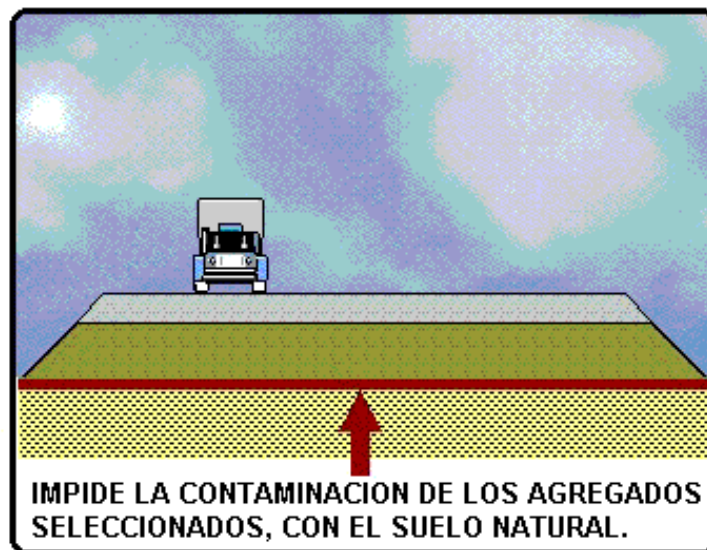
*Resistencia a Temperatura:* El polipropileno es resistente a altas temperaturas.



*Permeabilidad y Capacidad de filtración:* Por su porosimetría, los geotextiles permiten el paso del agua y retienen los materiales finos.

### 1.2.1.2 Funciones de los geotextiles

*Separación:* Impide la contaminación de los agregados seleccionados en el suelo natural.



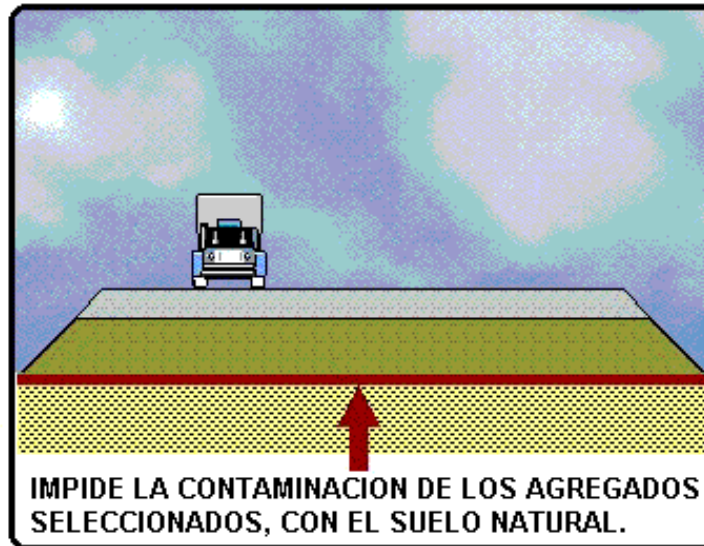
*Refuerzos:* Todo suelo tiene una baja resistencia a la tensión. El geotextil absorbe los esfuerzos de tensión que el suelo no posee



*Filtración:* Permite el paso de agua impidiendo que los finos traspasen el geotextil.

### 1.2.1.2 Funciones de los geotextiles

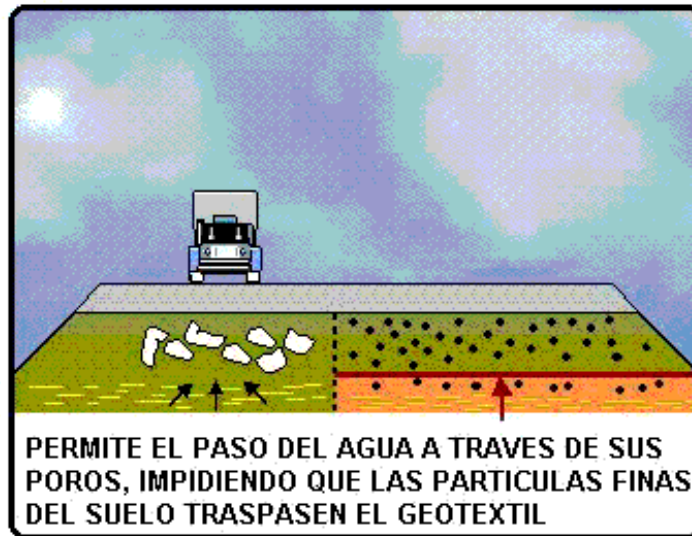
*Separación:* Impide la contaminación de los agregados seleccionados en el suelo natural.



*Refuerzos:* Todo suelo tiene una baja resistencia a la tensión. El geotextil absorbe los esfuerzos de tensión que el suelo no posee.



*Filtración:* Permite el paso de agua impidiendo que los finos traspasen el geotextil.



*Drenaje Planar:* Drena el agua en el plano del geotextil, evitando el desarrollo de la presión de poros en la masa del suelo.

*Barrera Impermeable:* Los geotextiles no tejidos, al impregnarse con asfalto, elastómeros u otro tipo de mezclas poliméricas, crean una barrera impermeable contra líquidos.



*Protección:* Gracias a la espesura y a la masa de los geotextiles tejidos, estos absorben los esfuerzos inducidos por objetos angulosos o



punzantes, protegiendo materiales laminares como es el caso de las geomembranas.

### 1.2.1.3 Tipos de Geotextiles

*Geotextil tejido*: Impide la contaminación de los agregados seleccionados, en el suelo natural.

*Geotextil no tejido*: Generalmente estos son tejidos que tienen altas fuerzas a la tensión, alto módulo y baja elongación.



Figura 1.2 Geotextil tejido.



Figura 1.3 Geotextil no tejido

#### **1.2.1.4 Aplicaciones de geotextiles**

El uso de cada uno de ellos depende de la función que debe desempeñar el Geotextil, en contacto con el suelo y el tipo de obra a ejecutarse. Las principales aplicaciones son:

- Subdrenajes
- Estabilización de taludes y laderas
- Protecciones de membranas
- Repavimentaciones
- Estabilización de suelos como refuerzos para:
  - Caminos
  - Vías férreas
  - Construcciones hidráulicas
- Drenajes verticales
- Campos deportivos
- Terraplenes
- Túneles
- Rellenos sanitarios
- Gaviones
- Muelles
- Presas
- Diques
- Canales

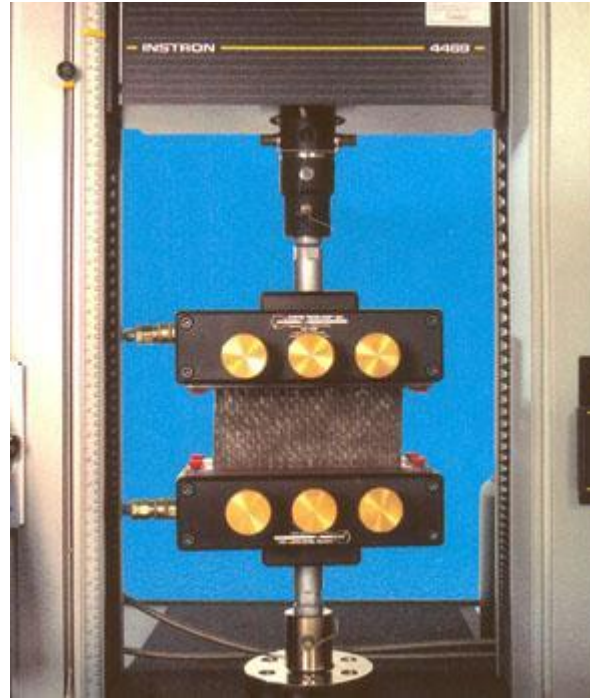


Figura 1.4 Control de calidad de geotextiles

### 1.2.2 Geomallas

Las GEOMALLAS son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de

Costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón con las partículas del suelo de relleno o suelo circundante. La principal función de las geomallas es indiscutiblemente el refuerzo.



Figura 1.5 Geomalla.

### 1.2.2.1 Características de la Geomalla

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

### 1.2.2.2 Funciones de las Geomallas

Se usan como refuerzos de suelos para realizar estabilizaciones superficiales.

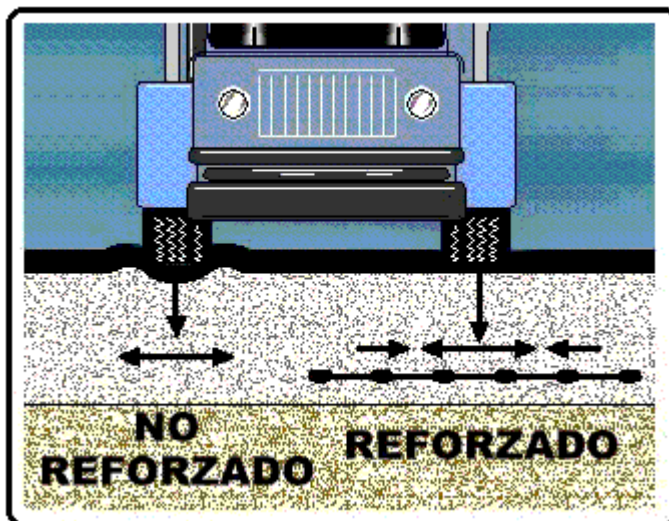


Figura 1.6 Refuerzo superficial con geomalla

### 1.2.2.3 Tipos de Geomallas

Dentro de esta clasificación encontramos a la Geomalla Orientada o Coextruida, la cual presenta 2 tipos que son:

- Uniaxiales
- Biaxiales

Ambas fabricadas de polietileno de alta densidad o polipropileno.

- Geomallas Uniaxiales

Son Geomallas específicamente diseñada para proyectos de refuerzo de suelos donde se desea fuerza en un solo eje.

Estas Geomallas son diseñadas para ser mecánica y químicamente estables en ambientes de suelos agresivos y no son atacadas por soluciones acuosas salobres, ácidos, álcalis y no son susceptibles a la hidrólisis, ruptura por estrés causada por ataque del medio ambiente ó ataques de microorganismos. Además de lo anterior éstas Geomallas cuentan con un añadido mínimo de 2% de negro de humo como protección para evitar la degradación por rayos U.V.

Las Geomallas uniaxiales se aplican en situaciones donde la dirección de los esfuerzos principales mayores es conocida.



- Geomallas Biaxiales:

Es una malla para base de caminos y estabilizaciónde suelos.

La Geomalla Biaxial ofrece una alta estabilidad a la tensión, excelente resistencia al daño en el proceso de construcción y a la exposición al medio ambiente.

La geometría de la Geomalla Biaxial permite una trabazón mecánica positiva muy fuerte.

Con el empleo de esta malla se pueden obtener ahorros significativos en la cantidad de material necesario para estabilizar un suelo.

Las geomallas biaxiales se aplican en situaciones donde los esfuerzos movilizados son esencialmente al azar.



#### **1.2.2.4 Aplicaciones de las Geomallas**

- Taludes
- Gaviones
- Obras marinas
- Muros
- Terraplenes y otros

La Geomalla en combinación con Geotextiles y Geomembranas se usan como:

- Estabilización de suelos como refuerzo
- Reforestación e instalaciones agrícolas
- Rellenos sanitarios

Estos geosintéticos han logrado gran aceptación por cuanto reemplazan a la empalizada, sistema tradicional que se usaba en la construcción de vías de acceso para la exploración de petróleo en nuestro Oriente Ecuatoriano, lo que significaba la tala indiscriminada de árboles, creando la deforestación en áreas protegidas.

#### **1.2.3 Georedes**

La GEORED es una estructura de polímero manufacturada en forma de lienzo, que consiste de un sistema regular de costillas sobrepuestas y conectadas íntegramente, cuyas aberturas son generalmente más grandes que los elementos que la forman. Estas son utilizadas en aplicaciones de ingeniería geotécnica, ambiental, hidráulica y de transporte. Son materiales de una o varias capas que se obtienen generalmente por extrusión o punzonado del polietileno de alta densidad o del polipropileno, o también tejiendo o entrelazando y cubriendo fibras de poliéster de alta resistencia.

### 1.2.3.1 Características de las Georedes

Resistencia a la tensión: Absorbe los esfuerzos producidos en la estructura que es sometida a carga.

Transmisividad: La transmisividad típica de una geored puede variar desde 0.5 hasta 16.5 g/ft/min dependiendo de las características de la estructura tridimensional y de si se encuentra combinada o no con un geotextil.

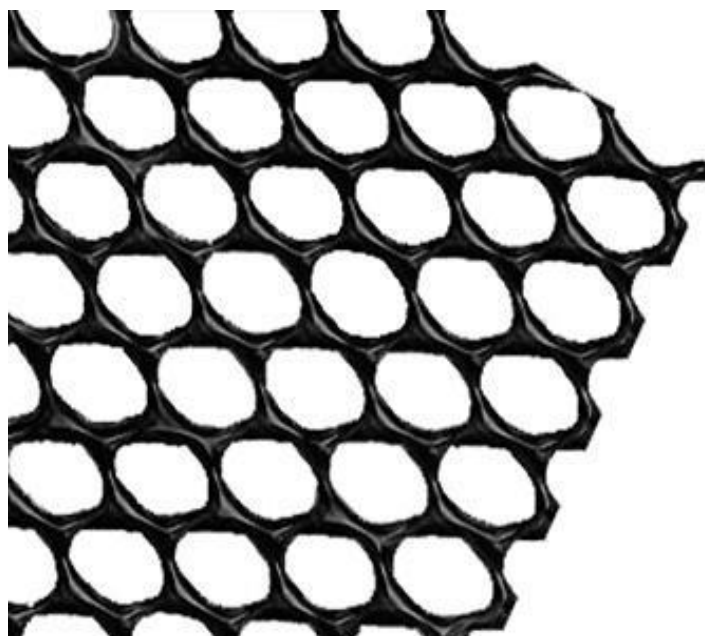


Figura 1.7 Geored

La estructura de redes resultante tiene amplias aberturas locales que mejoran su interacción con el suelo o con los agregados. Las georedes reducen el desplazamiento lateral y mejoran la estabilidad total del terraplén de tierra.

11\* [http://www.google.com.ec/search?hl=es&q=geored&gs\\_sm=e&gs\\_upl=108012177101283416161010101014031141313-3.11410&bav=on.2,or.r\\_gc.r\\_pw.,cf.osb&biw=1366&bih=644&wrapid=tlif132145096151010&um=1&ie=UTF-8&tbn=isch&source=og&sa=N&tab=wi](http://www.google.com.ec/search?hl=es&q=geored&gs_sm=e&gs_upl=108012177101283416161010101014031141313-3.11410&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&biw=1366&bih=644&wrapid=tlif132145096151010&um=1&ie=UTF-8&tbn=isch&source=og&sa=N&tab=wi)



Son materiales textiles sintéticos permeables. Sus propiedades Hidráulicas y Mecánicas han permitido su implementación en los proyectos de construcción y mecánica de suelos. La materia prima son los Polímeros los cuales, debido a su comportamiento no biodegradable, facilitan su aplicación en suelos ya que soportan las sustancias que se pueden encontrar en estos. Los polímeros más utilizados para la fabricación de geosintéticos son Poliolefinas (Polipropileno y Polietileno) y Poliéster.

Son empleadas para obras de control de erosión, refuerzo de suelos, filtración y separación entre capas de materiales. Se colocan sobre taludes, sobre zonas erosionadas para revegetar, para proteger capas de relleno de suelo sembrado y son fabricadas con resinas de polietileno de alta densidad.



Figura 1.8 Terreno reforzado con Geored

12\* [http://www.google.com.ec/search?hl=es&q=geored&gs\\_sm=e&gs\\_upl=108012177101283416161010101014031141313-3.11410&bav=on.2,or.r\\_gc.r\\_pw.,cf.osb&biw=1366&bih=644&wrapid=tlif132145096151010&um=1&ie=UTF-8&tbn=isch&source=og&sa=N&tab=wi](http://www.google.com.ec/search?hl=es&q=geored&gs_sm=e&gs_upl=108012177101283416161010101014031141313-3.11410&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&biw=1366&bih=644&wrapid=tlif132145096151010&um=1&ie=UTF-8&tbn=isch&source=og&sa=N&tab=wi)

Confieren estabilidad a los terrenos y proporcionan protección frente a desprendimientos superficiales.

Se ha ampliado mucho su utilización como soporte de hidrosembras ya que contribuyen al control de la erosión superficial del terreno.

Las georedes están estabilizadas con tratamiento anti-UV y son resistentes a álcalis y ácidos que se encuentran en los suelos, aglomerados asfálticos, hormigones.

### **1.2.3.2. Funciones de las Georedes**

Son geosintéticos monofuncionales, diseñados específicamente como sistemas de drenaje. Su principal uso es bajo barreras de impermeabilización primarias, para la conducción de fugas a los sistemas de detección y colección de las mismas.

### **1.2.3.3. Tipos de Georedes**

- Georedes biaxiales consistentes de costillas sólidas extruidas: es el tipo más común de geored.
- Georedes biaxiales consistentes de costillas extruidas espumadas: las que resultan en espesores totales mayores y por lo tanto mayor tasa de flujo.
- Georedes triaxiales consistentes de costillas sólidas extruidas: lo que permite un elevado flujo preferencial y la capacidad de soportar elevados esfuerzos normales.

### **1.2.3.4. Aplicaciones de las Georedes**

- Drenaje de agua
- Detrás de muros de contención
- Infiltración en taludes de rocas o taludes de suelos
- En plataformas
- Bajo los cimientos de edificios

- En cabezales de relleno y cerramientos
- Manto de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga
- En suelos susceptibles a heladas

#### 1.2.4 Geomembranas

Las Geomembranas se definen como un recubrimiento o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado y aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos. Las Geomembranas son fabricadas a partir de hojas relativamente delgadas de polímeros como el HDPE y el PVC las cuales permiten efectuar uniones entre láminas por medio de fusión térmica o química sin alterar las propiedades del material.



Figura 1.9 Geomembranas.

Son laminas poliméricas impermeables fabricados en cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta o baja densidad. Son recubrimientos sintéticos impermeables a fluidos y partículas cuya función es la de revestir canales, lagunas, depósitos de agua, controlar la erosión, etc.

La Geomembrana cumple la función principal de impermeabilización en obras civiles, geotécnicas y ambientales.

#### **1.2.4.1 Características de las Geomembranas**

- Alta durabilidad
- Resistentes a la mayoría de los líquidos peligrosos
- Alta resistencia química
- Resistentes a la radiación ultra violeta (U.V.)
- Económicas

#### **1.2.4.2 Tipos de Geomembranas**

##### **GEOMEMBRANAS PVC (Cloruro de Polivinilo):**

Las membranas de PVC son fabricadas con características técnicas especiales, como por ejemplo de alta flexibilidad para el recubrimiento de túneles; membranas texturizadas para desarrollar más fricción con el suelo cuando los taludes a recubrir tienen pendientes importantes; membranas con aditivos especiales para retardar la combustión en aplicaciones donde se requiera materiales de construcción con flamabilidad controlada. Estos productos también pueden incluir una superficie de color blanco u otro diferente, y otras características especiales como una superficie conductiva para ser ensayada mediante una prueba de chispa, permitiendo la ejecución de ensayos no destructivos sobre toda la superficie de la lámina después de su instalación.

Las membranas de PVC son películas flexibles e impermeables que se fabrican bajo dos procesos cada uno con capacidad de brindar soluciones de recubrimientos en obras de ingeniería, con refuerzo textil o sin refuerzo, se han utilizado en obras como recubrimiento de piscinas, tanques y aquatanques, para almacenamiento de líquidos, cubiertas o terrazas o en obras subterráneas tales como túneles.

**GEOMEMBRANAS HDPE (Polietileno de Alta Densidad):**

Láminas Impermeables que por su composición y características mecánicas y físicas presentan mayor durabilidad y resistencia, al ser fabricada para contrarrestar los rayos ultravioletas.

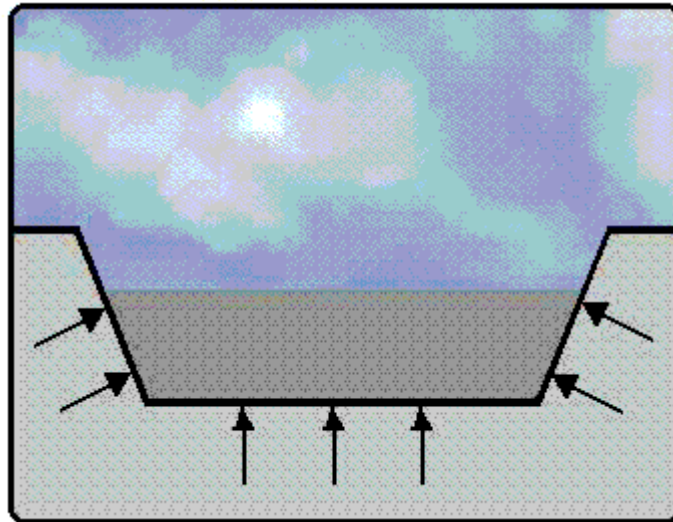


Figura 1.10 Impermeabilización de talud de corte con geomembrana

### 1.2.4.3 Función de las Geomembranas

La función primaria de una geomembrana es como barrera hidráulica, es decir, para impermeabilizar.

### 1.2.4.4 Aplicaciones de las Geomembranas

- Manejo de desechos sólidos
- Rellenos sanitarios
- Lagunas de oxidación
- Minería-Riego
- Reservorios
- Acuicultura
- Agricultura
- Proyectos hidráulicos
- Canales de conducción
- Almacenamiento
- Lagunas de tratamiento de desechos de crudo

### 1.2.5 Geoceldas

Son sistemas tridimensionales de confinamiento celular fabricados en paneles de polietileno o polipropileno. Por su alta resistencia sirven para el confinamiento de cargas.



Figura 1.11 Geoceldas.

#### 1.2.5.1 Característica de las Geoceldas

**Permeabilidad:** Esta facilita la absorción del agua durante las precipitaciones de lluvia por lo que disminuye el escurrimiento y consecuentemente la erosión.

**Resistencia al agrietamiento:** Su confinamiento celular permite alcanzar gran resistencia a los cambios climáticos ambientales evitando las fisuras

#### 1.2.5.2 Funciones de las Geoceldas

- Confinamiento celular
- Soporte de cargas (Refuerzo de suelos).

- Control de erosiones superficiales.
- Revestimiento de canales.
- Estructuras de contención o tierra armada.
- Paisajismo.

### **1.2.5.3 Tipos de Geoceldas**

Geoceldas con paredes texturizadas:

Para lograr gran interacción friccional entre las paredes y el relleno.

Geoceldas con paredes perforadas:

Para crear celdas permeables, estables y con gran interacción friccional.

### **1.2.5.4 Aplicaciones de las geoceldas**

- Caminos de acceso
- Parqueaderos
- Estabilización de carreteras sobre subrasantes muy blanda
- Vías férreas para confinamiento del balastro
- Fundación de edificios, malecones, puentes y tribos
- Conducción de tuberías en suelos muy blandos
- Muros de contención
- Ampliaciones de vías
- Control de erosión
- Canales
- Estabilidad de Taludes

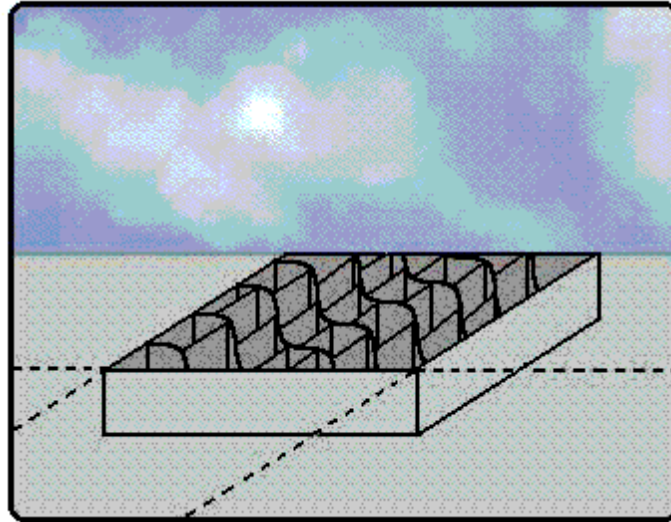


Figura 1.12 Ejemplo de confinamiento usando geoceldas

### 1.3 Introducción al uso de Geosintéticos

Una de las grandes inquietudes que los arquitectos y diseñadores de edificios y los constructores deben resolver al iniciar los proyectos está ligada al tamaño de los elementos estructurales a utilizar.



Esto tiene incidencia tanto en el proyecto arquitectónico (espacios arquitectónicos afectados, altura del edificio, etc.) Como en la evaluación de costos preliminar que determina la viabilidad del proyecto ante un estudio de prefactibilidad.

Existen muchos mecanismos para determinar preliminarmente las dimensiones de los elementos estructurales de una edificación. Este artículo se centrará en el caso de pórticos de concreto reforzado y acero en edificios de pequeña y mediana altura y con luces que en general no deben superar los 8.0 o 9.0 metros.

Evidentemente en el caso de grandes luces o edificios en altura o en general de estructuras cuya configuración o uso difiera de las edificaciones normales no podrán aplicarse los criterios que aquí se enuncian.

La ubicación temporal de los primeros intentos de la humanidad por reforzar los suelos es más que imposible.

Sin embargo, se puede considerar razonable suponer que dichos intentos correspondieron al uso de troncos de árboles, arbustos y elementos afines. Pese a que su efectividad parece obedecer más a la aplicación de grandes masas de material que a la verdadera funcionalidad de los mismos, se les puede considerar como acertado puesto que, en algunos de los casos, su efecto estabilizador se prolonga por el tiempo suficiente para hacer de la solución utilizada una costumbre.

Estas estructuras semisintéticas, constituidas de materiales naturales utilizados como cuerpos extraños para mejorar un medio natural, no siempre fueron exitosas.

De hecho, en ocasiones se mejoraban las condiciones iniciales del suelo haciendo compleja la reinstalación del material de refuerzo.

Fue así como la falta de material suficiente para resistir las cargas a las que la vía era expuesta, la "filtración" del suelo de pobres condiciones a través de la estructura de estabilización y la degradación del material natural utilizado como estabilizante (hecho que en ocasiones constituía la reaparición del estado de inestabilidad inicial), se convirtieron en ejemplos comunes de la vulnerabilidad del uso de estos materiales.

El concepto de reforzar suelos ha permanecido vigente ante las crecientes necesidades de la humanidad, tanto que en 1926 se dio el primer intento de uso de fibras sintéticas en el refuerzo de una estructura de pavimentación.

El propulsor de dicho experimento fue el Departamento de Vías de Carolina del Sur en Estados Unidos (Koerner, 1997). El ensayo consistió en disponer una gruesa capa de algodón sobre la capa de base del pavimento flexible para luego verter asfalto caliente sobre la fibra y protegerlo con una delgada capa de arena. Los resultados del experimento fueron publicados en 1935, mostrando una reducción de las fallas localizadas y el agrietamiento en la estructura y buenas condiciones de servicio antes de que la fibra se deteriorara completamente.

Este proyecto demostró la relevancia de usar cuerpos ajenos al material, que cumplan las funciones de mejoramiento del material natural propias de las fibras sintéticas que conocemos hoy en día.

El desempeño general de los geosintéticos permite proveer soluciones eficientes a la ingeniería en diversas escalas. Su amplio uso se ha alcanzado gracias a las ventajas comparativas frente a otros métodos de mejoramiento de condiciones in-situ dentro de las cuales se destacan: a) un mejor desempeño de la función específica: por su estricto control de calidad y desarrollo tecnológico están calificados en el cumplimiento de funciones específicas y b) economía en su uso: ya sea por menor inversión inicial o por prolongación de la vida útil de la estructura.

La incursión y posicionamiento del mercado de los geosintéticos en Ecuador (empresas como Pivaltec) sugiere la posibilidad de innovar en las metodologías tradicionales de diseño y construcción de obras de pavimentación.

El país tiene la responsabilidad de estudiar, analizar y cuestionar el uso óptimo de estos materiales dentro del contexto regional, con el fin de motivar su uso responsable y eficiente y satisfacer la necesidad de contar con una infraestructura vial que sea segura y de alta calidad.

#### **1.4 Características de los Geosintéticos empleados en pavimento flexible**

Para analizar y comprender la evolución en el mercado nacional e internacional de estos materiales, es necesario estudiar su naturaleza, funcionalidad y ventajas dentro del desarrollo de un proyecto de pavimentación.

Los principales geosintéticos empleados en este tipo de proyectos son los geotextiles, las geomallas, los geobloques y los geodrenes.

En la literatura existe una gran cantidad de bibliografías sobre el uso, las experiencias, las ventajas y las desventajas de los materiales geosintéticos en proyectos geotécnicos (Koerner, 1997; PAVCO, 2002; Tensar, 2002; DaSilva, 1994; FAO, 2001, entre otros).

En términos generales, se puede afirmar que estos materiales han revolucionado el diseño y construcción de obras civiles alrededor del mundo. Su importancia radica en que son eficientes en la solución de problemas tradicionales que involucran suelos naturales con dificultades (baja capacidad portante, agua libre, contaminación de suelos granulares con suelos finos de baja calidad, etc.).

La siguiente tabla resume las principales aplicaciones de los geotextiles, las geomallas, los geobloques y los geodrenes dentro de proyectos de pavimentación.

#### MATERIAL

#### FUNCIONES

- Impedir contaminación entre capas de la estructura por el efecto de las cargas dinámicas y el arrastre del agua.
- Resistir los esfuerzos de tensión del material, disminuyendo los espesores de diseño y los volúmenes de movimiento de tierras.

#### Geotextiles

- Evitar el taponamiento por colmatación de estructuras de drenaje.
- Evitar la aparición de grietas por reflexión en la capa de rodadura al actuar como una interfase de separación entre la capa de rodadura nueva y la capa antigua fisurada.
- Reducir el espesor de las capas estructurales del pavimento o mejorar las especificaciones de las mismas.

#### Geomallas

- Reducir la formación de huellas y fallas por esfuerzo cortante y asentamientos diferenciales en el pavimento.

- Conferir mayor durabilidad de la estructura de pavimento.
- Mejorar la capacidad portante, resistencia a movimientos y deformaciones laterales de la estructura de pavimento.
- Evitar la aparición de grietas por reflexión al absorber esfuerzos cortantes y tensiones causadas por efecto de las cargas actuantes sobre el área de influencia de las fisuras del pavimento anterior.
- Lograr independencia térmica entre la estructura del pavimento y el medio ambiente.

## **Propiedades de los geosintéticos empleados en Pavimentos Flexibles**

### **Geotextiles:**

Son diversas las propiedades que se le asignan a los geotextiles; entre las más importantes están: La capacidad de resistencia y de permeabilidad. De forma secundaria la porosidad, rugosidad y durabilidad.

**RESISTENCIA:** Es una propiedad muy importante, por ser el geotextil el encargado de soportar o absorber los esfuerzos originados desde su instalación hasta que el material comience a cumplir la función a la cual se ha destinado. Es un factor determinante para la selección del tipo de geotextil, ya que es importante garantizar la resistencia del elemento ante cualquier circunstancia. La resistencia es obtenida en el proceso de fabricación variando su magnitud en cada tipo de geotextil. Los geotextiles pueden tener la propiedad de transmitir y conducir un flujo a través y entre su plano por lo que pueden ocurrir dos tipos de flujo: normal

y planar. El flujo normal propiedad de todos los geotextiles, es el que se origina cuando la corriente atraviesa perpendicularmente la tela, es decir el sintético actúa como filtro.

El flujo planar es aquel que se desliza entre el plano estructural, cumpliendo el geotextil en este caso una función de drenaje laminar.

En presencia de fuerzas compresivas se ha demostrado en los geotextiles no tejidos por métodos mecánicos que el flujo planar es más afectado que el normal, por el contrario los tejidos y no tejidos unidos térmicamente no son afectados por estas fuerzas.

**POROSIDAD:** Entenderemos ésta propiedad como el tamaño y distribución de los espacios entre los filamentos que forman un geotextil. La porosidad no es una propiedad invariable entre el grupo de los geotextiles, sino que depende del tipo de fibra y el proceso de fabricación de los mismos. Los tejidos tienen una distribución y tamaño de poro bastante regular, a diferencia de los no tejidos que presentan aberturas de varias formas y tamaños.

**RUGOSIDAD:** Es la aspereza que presenta el geotextil en su superficie. Los geotextiles rugosos son convenientemente utilizados para desempeñar funciones de adherencia, refuerzo y toda aplicación que necesite una buena fricción entre la tela y los materiales. Los más utilizados son los tejidos y no tejidos por procesos mecánicos.

**DURABILIDAD:** Los tejidos sintéticos son altamente resistentes al deterioro progresivo, ocasionado por agentes físicos, químicos y biológicos. Esta propiedad está directamente relacionada con el tipo de material utilizado en la manufactura de la fibra. Los geotextiles, por estar compuestos de polímeros no se descomponen biológicamente y son indigeribles; la degradación físico-química por contacto directo con suelos y químicos, no representa un problema importante. Sin embargo los geotextiles son afectados por los rayos ultravioletas, por lo que, deben protegerse de la excesiva incidencia de los rayos solares durante su almacenamiento y en algunas fases

de la construcción. Una cubierta de betún asfáltico o concreto podría representar una solución para aquellas zonas en que el material estará permanentemente expuesto a la intemperie. Estas condiciones hacen de los geotextiles, un producto altamente durable y confiable.

## **Geomallas:**

### **Módulo de estabilidad de la abertura**

La investigación indica fuertemente que esta propiedad captura eficazmente la interacción compleja del módulo de tracción inicial, la rigidez, el confinamiento y la estabilidad. Las geomallas con mayor estabilidad de abertura tienen mejor desempeño.

### **Forma de las costillas**

Las costillas cuadradas o rectangulares proporcionan mejor interacción con el suelo y la subbase. Los productos con costillas cuadradas y rectangulares tienen mejor desempeño que los que tienen costillas redondeadas.

### **Espesor de las costillas**

Las costillas más gruesas proporcionan mejor interacción con el suelo y la base. Los productos con costillas más gruesas tienen mejor desempeño que los que tienen costillas más angostas.

### **Tamaño de las aberturas**

Las aberturas de las geomallas deben ser lo suficientemente grandes como para permitir que los agregados y el suelo penetren a través de ellas, pero lo suficientemente pequeñas como para proporcionar una trabazón eficaz. La investigación indica que una abertura de entre 0.9 y 1.5 pulgadas tiene el mejor desempeño con la mayor parte de las combinaciones de agregados y suelo de las bases para carreteras.

### **Eficiencia de las uniones**

La investigación indica que las uniones de las geomallas deben ser lo suficientemente fuerte como para confinar las partículas de la base eficazmente. Las geomallas con mayor eficiencia de unión tienen mejor desempeño.

### **Georedes:**

Consisten en mallas de polietileno de mediana o alta densidad de entramado romboidal de 5 mm a 10 mm de espesor y aproximadamente 1.0 a 1.5 m de ancho, suministradas en rollos de alrededor de 100 m de longitud.

Pueden estar adheridas a geotextiles por una o ambas caras de modo de impedir tanto la fuga de los finos en la conducción de líquidos, como la colmatación por depositación en el plano de la geored.

Todas las georedes actualmente disponibles están hechas de resina de polietileno.

La densidad varía desde 0.94 hasta 0.96 g/cm<sup>3</sup>, con el valor más alto para los productos más rígidos. La resina es formulada con un 2.0% a 2.5% de negro de humo y con un 0.25% a 0.75% de aditivos, que sirven como ayudas en el proceso de fabricación y como oxidantes.

### **Geomembranas:**

#### **Índice de fluidez**

Determina la uniformidad del polímero, parámetro de importancia en el aseguramiento de calidad



### **Resistencia al impacto**

Evaluación del comportamiento de las láminas (material y espesor) y del eventual uso de geotextiles sobre la geomembrana con el fin de amortiguar la caída de materiales.

### **Resistencia al punzonamiento**

Es el de mayor relevancia en el diseño de revestimientos geosintéticos, pero hay que entenderlo como la fuerza necesaria para perforar la geomembrana bajo un procedimiento estándar. No obstante hay que considerar que en algunos casos, no es la carga la variable independiente del efecto punzante, sino la cantidad de deformación impuesta a la geomembrana. Este efecto es controlado, evitado o minimizado por medio de geotextiles (no tejidos agujados) o revestimientos geosintéticos de bentonita (GCLs) bajo la geomembrana y con capas de suelo de protección.

### **Fricción**

Fricción del suelo con el revestimiento geosintético y del coeficiente de fricción entre los geosintéticos que comprenden el revestimiento, para evitar el colapso del sistema por deslizamiento de un talud, teniendo como superficie de falla el revestimiento.

Puede ser llevado a cabo reproduciendo satisfactoriamente las condiciones reales del terreno por medio de equipos de corte directo: tipo de suelo y granulometría, grado de compactación, condición de humedad del suelo y presión de confinamiento del revestimiento.

### **Durabilidad**

La durabilidad de la geomembrana es un aspecto que concierne a todas las aplicaciones.

El requerimiento insuficiente de resistencia frente a agentes

agresivos ocasionará la falla prematura del sistema por degradación o deterioro del material.

Por otra parte el sobredimensionamiento de la durabilidad de la geomembrana puede implicar, ya sea un costo excesivo del material o el desmedro de otras propiedades importantes.

La resistencia química de las geomembranas es de especial interés en aquellos sistemas destinados a la contención de desechos.

Los rayos UV son catalizadores del envejecimiento de los polímeros. La adición de negro de humo (carbón black) evita el envejecimiento prematuro del material.

Las pérdidas volátiles se refieren a la evaporación de solventes y plastificantes presentes en la geomembrana.

### **Permeabilidad al vapor de agua**

Si bien el coeficiente de conductividad hidráulica es un parámetro relevante de las geomembranas en el diseño, su determinación es relativa ya que es alterada por la composición química del soluto o solvente (lixiviados, relaves, etc).

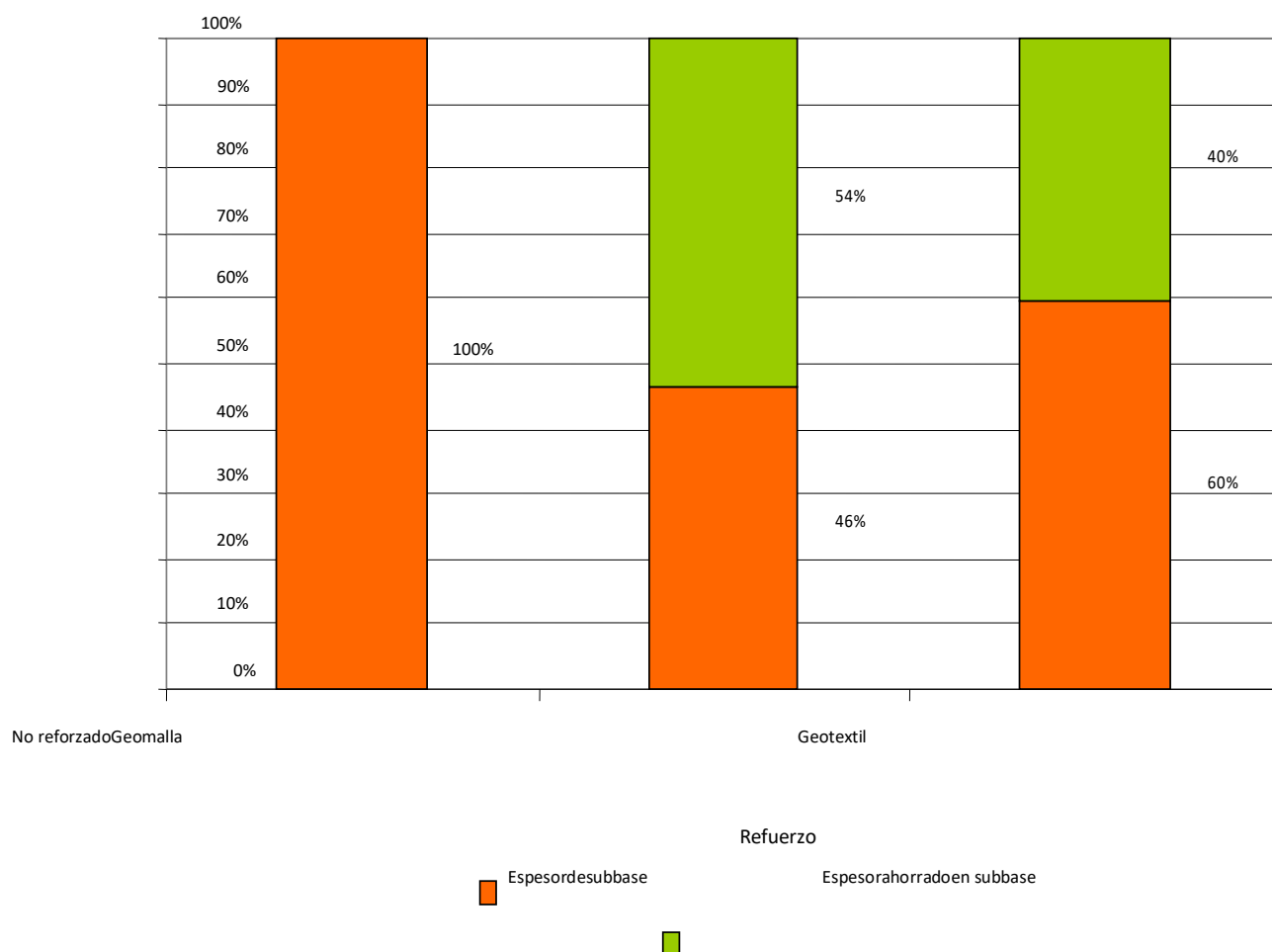
## **1.5 Introducción a las geomallas para pavimentos flexibles**

Desde hace cerca de 25 años, las geomallas compiten en muchos campos con los geotextiles, demostrando su eficiencia en el mejoramiento de subrasantes y en el refuerzo de material granular. Pese a que este material tiene un período de desarrollo menor que el de los geotextiles, escala vigorosamente hacia su auge pues es muy utilizado en países desarrollados.

No sería acertado pensar en las geomallas como el reemplazo de los geotextiles, ya que en aplicaciones específicas cada uno tiene su margen, pero sí como uno de los productos para refuerzo de mayor proyección. Su creciente participación en el mercado se constata con el hecho de que un productor estadounidense promedio ha instalado en los últimos 15 años más de 75 millones de metros cuadrados en estructuras de refuerzo en su país y que para 1987 el 15% de los muros de contención construidos en Norte América usaron geomallas para estabilizar sus materiales y reducir pendientes en taludes (Tensar, 1997).

En una comparación por precio frente a los geotextiles las desventajas de las geomallas pueden ser equilibradas, o al menos disminuidas, con un análisis beneficio / costo. Desde el punto de vista operativo se deben tener en cuenta las ventajas constructivas que presenta la geomalla (facilidad de instalación, rigidez, soporte al equipo de trabajo, etc.). Desde el punto de vista económico, y hablando en términos generales, dependiendo de las condiciones de la obra y de los materiales se pueden encontrar ahorros que conduzcan a la factibilidad económica del proyecto.

A manera de ejemplo, se pueden realizar cálculos del ahorro en espesor de capas comparando los espesores de la subbase en un diseño sin refuerzo, uno con geomalla y uno con geotextil. Los cálculos realizados merecen un análisis posterior de mayor profundidad que incluya factores como efectividad del diseño y sensibilidad del mismo a modificaciones en las variables de entrada



Comparación de los porcentajes de espesor sin refuerzo

Existen diversos métodos para aumentar la capacidad de carga de suelos blandos.

Uno de estos el más antiguo y aun efectivo, consiste en reforzar el suelo mediante confinamiento lateral de las partículas de material y aumentar su resistencia a la tensión.

La tecnología actual, permite el uso de productos sintéticos diseñados específicamente para obtener el mismo efecto de

confinamiento lateral y resistencia a la tensión, como pueden ser las geomallas orientadas o Coextruidas :

➤ **Las geomallas orientadas o Coextruidas :**

Son estructuras elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante.

La principal función de las geomallas coextruidas es indiscutiblemente el refuerzo; el uso de este tipo de geomalla está ligado a la dirección en que los refuerzos se transmiten en la estructura, por ejemplo, en aplicaciones tales como:

➤ **Muros en Suelos Reforzados o Terraplenes.**

Se utilizan geomallas mono-orientadas que son geomallas con una resistencia y rigidez mayor en el sentido longitudinal que en el transversal.

Mientras que en estructuras en que la disipación de los esfuerzos se realiza de forma aleatoria y en todas las direcciones, como por ejemplo:

➤ **Estructuras de Pavimentos o Cimentaciones Superficiales.**

Se utilizan geomallas bi-orientadas o bi-direccionales las cuales no tienen una diferencia considerable frente a sus propiedades en los 2 sentidos.

Las geomallas coextruidas generan un incremento en la resistencia al corte del suelo.

Durante la aplicación de una carga normal al suelo blando, este se compacta de manera que se produzca una interacción entre las

capas de suelo que rodean la geomalla. Con estas condiciones, se requerirá una carga considerablemente mayor para producir un movimiento en el suelo.

El compuesto suelo-geomalla reduce la resistencia al movimiento, por lo tanto, el uso de las geomallas produce una condición llamada cohesión, inclusive en materiales granulares. El compuesto combina la resistencia a la compresión del suelo con la tensión de la geomalla, para crear un sistema que presenta una mayor rigidez y estabilidad que un suelo sin ningún elemento que soporte estos esfuerzos.

### 1.5.1 Clasificación

Tenemos 2 tipos, los cuales se enuncian y se ilustran a continuación:

- a. Geomallas Coextruidas Mono-orientadas



Figura 1.6 Geomallas Coextruidas Mono-orientadas

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

Este proceso permite obtener una estructura monolítica con una distribución uniforme de largas aberturas elípticas, desarrollado así con gran fuerza a la tensión y gran módulo de tensión en la dirección longitudinal. La estructura de este tipo de geomallas provee un sistema de trabazón óptima con el suelo especialmente de tipo granular.

Este tipo de geomallas, en el suelo posee gran resistencia a los esfuerzos de tensión, soportando hasta 165 kN/m, todo esto como resultado del concepto de estructura en suelo reforzado, similar al concepto del hormigón y del acero de refuerzo.

#### **b. -Geomallas Coextruidas Bi-Orientadas**



Figura 1.7 Geomallas Coextruidas Bi-Orientadas

EstetipodeGeomallasonestructurasbidimensionalesfabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusióny luegoestiradas deforma longitudinaly transversal.

Esteprocesogeneraunaestructuradedistribuciónuniformede espaciosrectangularesdealtaresistenciaalatensiónenambas direccionesyunaltomódulodeelasticidad,estaestructurade geomallapermiteuna óptima trabazón conel suelo.

Estetipodegeomallasecomponedeelementosynudosrígidosque proveen ungranconfinamiento.

Sonprecisamenteefectivasparareforzarestructurasdepavimentos rígidos yflexibles.

### **1.5.2 Proceso de Fabricación**

Para el caso de las geomallas en polietileno y polipropileno, el proceso de fabricación es el mismo.

Inicialmente se tienden láminas del material en el que se procede a realizar unas perforaciones cuadradas o elípticas, de forma uniforme y controlada sobre toda la lamina, según el caso la lamina perforada recibe un estiramiento en una o 2 direcciones, en la cual se realiza a temperaturas y esfuerzos controlados para evitar la fractura del material mientras que se orientan las moléculas en el sentido de elongación.



### 1.5.3 Funciones y aplicaciones

El uso de las geomallas coextruidas bi-orientadas y mono-orientadas, en diferentes campos de aplicación se define básicamente por su función de refuerzo. Esta función se realiza cuando la geomalla inicia un trabajo de resistencia a la tensión complementando con un trabazón de agregados en presencia de diferentes tipos de materiales.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruidas mono-orientadas son las siguientes:

- Estabilización de Suelos Blandos.
- Refuerzo de Terraplenes con Taludes Pronunciados y Diques.
- Refuerzo de Muros y Taludes.
- Ampliación de Crestas de Taludes.
- Reparación de Cortes en Taludes.
- Reparación de Deslizamientos.
- Estribos, Muros, Aletas de Puentes.
- Muros Vegetados o Recubiertos con Hormigón.

Las principales aplicaciones de las geomallas coextruidas bi-orientadas son las siguientes:

- Refuerzo en Base de Caminos Pavimentados y no Pavimentados.
- Refuerzo en Estructuras de Pavimentos de Pistas de Aterrizaje.

- Terraplenes para Caminos y Vías Férreas.
- Como Sistema de Contención sobre Rocas Fisuradas.
- Refuerzo debajo del Balasto de las Vías Férreas.

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

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



a) Estabilidad de Taludes



b) Refuerzo de Sub-rasante

20\*[http://www.perforoc.com/esp/servicios\\_3.html](http://www.perforoc.com/esp/servicios_3.html)

21\*<http://www.interdiseños.com.co/index1.html>



c) Refuerzo de Capas de Rodadura

## **1.6 Normas de ensayos y especificaciones técnicas de elaboración de geomallas.**

Las geomallas estructurales serán una estructura de malla integralmente formada, fabricada de polipropileno resistente a la tensión con peso molecular y características moleculares que generen:

- Alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural, cuando la GEOMALLA se someta a tensión mecánica durante su instalación en obra.
- Alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural, cuando la GEOMALLA se someta a condiciones medioambientales.
- Alta resistencia a la deformación cuando la GEOMALLA se someta a esfuerzos de trabajos.

Las GEOMALLAS estructurales resistirán la aplicación de esfuerzos de trabajo con:

- Suelos compactados o materiales para relleno.
- Secciones contiguas en traslapes y empotramientos en suelos compactados o materiales de relleno.

Las GEOMALLAS estructurales tendrán rigidez flexural suficiente para lograr una instalación eficaz in-situ sobre suelos blandos o húmedos y la resistencia torsional suficiente para resistir el movimiento en el plano de suelos compactados o materiales para relleno, cuando estos están sujetos a desplazamientos laterales rotacionales por la aplicación de cargas.

Las geomallas estructurales tendrán adicionalmente las características enlistadas en; la siguiente tabla. Dichas características se obtuvieron de los ensayos GRI-GG287, ASTM D5732-95, ASTM D5818, ASTM D6637, EPA 9090 DE LA NORMA AMERICANA.

Propiedad	Método de prueba	Unidades	Tipo 1 IDH_FT13	Tipo 2 IDH_FT14
Módulo de estabilidad de abertura 20cm-kg	Kinney- 01	cm-kg/grado	3.2	6.5
Forma de la costilla IDH_FT16	Observación	No corresponde	Rectangularo cuadrada	Rectangularo cuadrada
Espesor de la costilla IDH_FT17	Medición	pulgadas (mm)	0.03 (0.76)	0.05 (1.27)
Tamaño nominal de abertura IDH_FT18	Medición de diámetro interior	pulgadas (mm)	1 a 1.5 (25 a 33)	1 a 1.5 (25 a 33)
Eficiencia de las uniones IDH_FT19	GRI-GG2-87	%	93	93
Rigidez a la flexión IDH_FT20	ASTM D1388-96	mg-cm	250,000	750,000
Módulo mínimo inicial real en uso IDH_FT21	ASTM D6637-01			
- MD		libras/pies (kN/m)	17,140 (250)	27,420 (410)
- CMD		libras/pies (kN/m)	27,420 (400)	44,550 (620)

### **Dimensiones y Despachos**

Las geomallas estructurales se entregaran individualmente en el sitio de trabajo en forma de rollo, cada uno identificado y nominalmente midiendo 3m (9.8 pies) o 4m (13.1 pies) de ancho y 75 m (246.06 pies) de largo.

Las GEOMALLAS estructurales pueden ser cortadas a longitudes o anchuras determinadas para satisfacer los diseños de INGENIERIA Civil Aplicado en Pavimento.

Las GEOMALLAS estructurales pueden ser cortadas a longitudes o anchuras determinadas para satisfacer los diseños de INGENIERIA Civil Aplicado en Pavimento.

## Capítulo 2

### Pavimentos

#### **2.1 Aspectos Generales**

Es la superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de capas de distintos materiales destinados a distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo del terraplén. Las condiciones necesarias de un pavimento para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Para cumplir su función la estructura de un pavimento debe ser SEGURA, COMODA y DURABLE.

SEGURA: Una textura superficial adecuada para que los vehículos no se deslicen, con adecuado drenaje superficial para evacuar rápidamente el agua y un color que evite los reflejos y el encandilamiento.

COMODA: La superficie debe ser regular transversal y longitudinalmente para evitar los brincos u oscilaciones de los vehículos y lograr un bajo nivel de ruido.

DURABLE: Se logra con los mejores criterios de diseño, óptima calidad de los materiales y adecuadas técnicas constructivas que garanticen, dentro del menor costo, el cumplimiento del diseño en la vida útil estimada.



Figura 2.1 Capas de pavimento

## 2.2 Capas de un Pavimento

El elemento principal de la estructura que se ilustra es el pavimento, el cual está compuesto de:

- Superficie de rodamiento
- Base
- Sub-base (no siempre se usa)
- Sub-rasante

### 2.2.1 SUPERFICIE DE RODAMIENTO

La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por el impulso de las rodadas bajo la carga de tránsito. Además, sirve para impedir la entrada de cantidades excesivas de agua superficial a la base y la subrasante directamente desde arriba. Su función primordial será proteger la base impermeabilizándola superficie, para evitar así posibles infiltraciones de agua de lluvia que podría saturar total o parcialmente las capas inferiores.

La superficie de rodamiento está formada por capas de concreto asfáltico (tratamiento superficial bituminoso), concreto hidráulico o adoquines.

La superficie de rodamiento puede variar en un espesor desde menos de 1 pulgada en el caso del tratamiento bituminoso superficial usado por su bajo costo en caminos de tránsito ligero, hasta 6 pulgadas o más de concreto asfalto usado para caminos de tránsito pesado.



Figura 2.2 Pavimentación

24\*<http://amivtac-jalisco.org/%C2%BFSabias-que----.php>



**Datos técnicos:**

Tendrán las siguientes características: Mat. Asfáltico: Deberá ser cemento asfáltico de penetración 60- 70.

Áridos: deberán tener la granulometría especificada a continuación:

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
2" (50.8 mm)	100		
1 1/2" (38.1 mm)	90-100	100	
1" (25.4 mm)		90-100	100
3/4" (19.0 mm)	56-80		90-100
1/2" (12.5 mm.)		56-80	
3/8" (9.5 mm)			56-80
Nº 4 (4.75 mm)	23-53	29-59	35-65
Nº 8 (2.36 mm.)	15-41	19-45	23-49
Nº 50 (0.30 mm.)	4-16	5-17	5-19
Nº 200 (0.075 mm.)	0-6	1-7	2-8

Tabla Granulometria de los aridos empleados en la carpeta asfaltica

Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%.

**Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)**

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8.	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2.	13.0	14.0	15.0
19	3/4.	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

### 2.2.2 Base

La base es una capa (o capas) de muy alta estabilidad y densidad. Su principal propósito es el de distribuir o “repartir” los esfuerzos creados por las cargas rodantes que actúan sobre la superficie de rodamiento para que los esfuerzos transmitidos a la subrasante no se antagrandesqueden por resultado de una excesiva deformación o desplazamiento de la capa de cimentación.

Esta capa tiene por finalidad, la de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y por medio de esta al terreno de fundación.

El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales.

En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico.

El material GRANULAR que se emplea en la base, debe llenar los siguientes requisitos:

- Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- El porcentaje de desgaste, según el ensayo de “Los Ángeles” debe ser inferior a 50.

- La fracción del material que pase el tamiz No. 40, ha de tener un Límite Líquido del 25%, y un Índice de Plasticidad inferior a 6.
- El C.B.R. de diseño debe ser superior al 50%. Por lo general la capa base se emplea piedra triturada o chancada, grava o mezclas estabilizadas



Figura 2.3 Pavimentación de carril de autopista

### **Granulometrías de las clases de bases:**

**Base Clase 1:** Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100%

25\*<http://www.coprisa.es/9-pavimentacion-asfaltar-autopista-a-1>

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	TIPO A	TIPO B
2" (50.8 mm)	100	--
1 1/2" (38.1 mm)	70 - 100	100
1" (25.4 mm)	55 - 85	70 - 100
3/4" (19.0 mm)	50 - 80	60 - 90
3/8" (9.5 mm)	35 - 60	45 - 75
Nº 4 (4.75 mm)	25 - 50	30 - 60
Nº 10 (2.00 mm)	20 - 40	20 - 50
Nº 40 (0.425 mm)	10 - 25.	10 - 25.
Nº 200 (0.075 mm)	2 - 12.	2 - 12.

**Base Tipo A y B según  
Granulometrías - Especificaciones del MOP**

**Base Clase 2:** Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 50% en peso.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm.)	100
3/4" (19.0 mm.)	70 - 100
3/8" (9.5 mm.)	50 - 80
Nº 4 (4.76 mm.)	35 - 65
Nº 10 (2.00 mm.)	25 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	15 - 30
Nº 200 (0.075 mm.)	3 - 15

**Base Clase 2 según Granulometría**

**Base Clase 3:** Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava triturada, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 25% en peso

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4" (19.0 mm.)	100
Nº 4 (4.76 mm.)	45 - 80
Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 60
Nº 40 (0.425 mm.)	20 - 35

Base clase 3 según  
Granulometrías - Especificaciones del MOP

**Base Clase 4:** Son bases constituidas por agregados obtenidos por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2" (50.8 mm.)	100
1" (25.4 mm.)	60 - 90
Nº 4 (4.76 mm.)	20 - 50
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15

Base clase 4 según  
Granulometrías - Especificaciones del MOP

### 2.2.3 SUB-BASE

Realmente se trata de una base de menor calidad ya que al estar más alejada de la carga del tráfico, estas le llegan más atenuadas.

En muchos casos se ha atribuido también a la sub-base una función

drenante, en particular cuando las capas inferiores son poco permeables.

Sin embargo esto no debe ser considerado como general en algunos casos el que la sub-base sea muy permeable puede ser perjudicial para la estructura, por su capacidad de almacenar mucha agua.

### **2.2.3.1 Características de la sub-base**

Principales características que debe tener la sub-base:

- Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen de elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudieran tener el material de la sub-base.
- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas friáticas cercanas de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos, donde la ascensión del agua capilar es grande.
- El material de la sub-base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser arena, grava, escoria de altos hornos o residuos de material de cantera. Si la función principal de la sub-base es servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular, y la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz No. 200 no será mayor del 8%

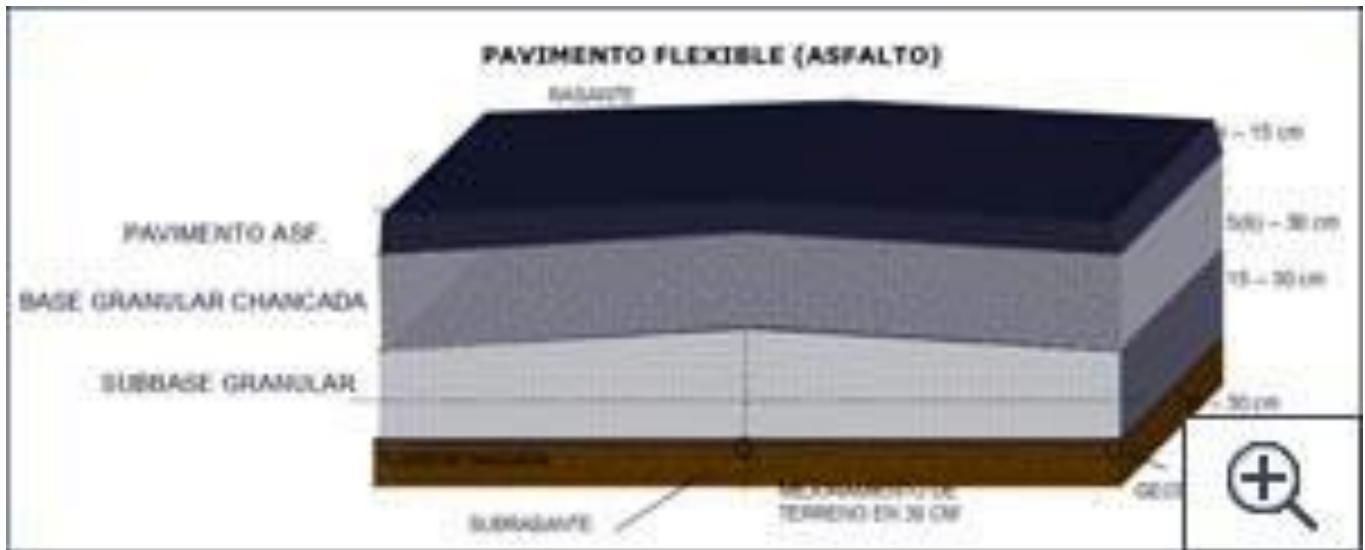


Figura 2.4 Sub-base Granular en capas de pavimento

## Granulometría de la sub-base

Sub-base Clase 1: Son sub.-bases construidas con agregados obtenidos por trituración de roca o grava.

Sub-base Clase 2: Son sub.-bases construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas.

Sub-base Clase 3: Son sub.-bases construidas con agregados naturales y procesados.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm)	--	--	100
2" (50.4 mm)	--	100	--
1 1/2" (38.1 mm)	100	70 - 100	--
Nº4 (4.75 mm)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
Nº40 (0.425 mm)	10 - 35	15 - 40	--
Nº200 (0.075 mm)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

**Clases de Sub-bases según  
Granulometrías - Especificaciones del MOP**

#### 2.2.4 **Sub-rasante**

La sub-rasante también llamada terreno de fundición es la capa de cimentación, la estructura que debe soportar finalmente todas las cargas que corren sobre el pavimento.

En algunos casos, esta capa estará formada solo por la superficie natural del terreno o sino de la parte superior de un relleno debidamente compactado.

En otros casos más usuales, será el terreno el que se compacte una vez que se ha cortado el necesario para la capa superior y donde se ha requerido terraplén.

En el concepto fundamental de la acción de los pavimentos Flexibles, el espesor combinado de la sub-base (si se usa), de la base y de la superficie de rodamiento debe ser lo suficientemente grande para que se reduzcan los esfuerzos que concurren en la sub-rasante a valores que no sean tan grandes como para que produzcan una distorsión o desplazamiento excesivos de la capa de suelo de la sub-rasante.



Frecuentemente, las deficiencias en la construcción de bidas a problemas de la sub-rasante se detectan por encontrarse “ocultas” en el pavimento final; sin embargo pueden aparecer en el pavimento desde la exposición al tráfico y al medio ambiente.

**Principales características que debe tener una sub-rasante:**

- Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad.
- Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub base de material seleccionado antes de colocar la base.
- Si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la sub – base.



Figura 2.5 Sub-rasante en via

## 2.3 Tipos de pavimentos

Básicamente existen tres tipos de pavimentos: rígido, flexibles, articulado.

### 2.3.1 Pavimento rígido

Los pavimentos típicamente rígidos, son los de concreto. Estos pavimentos difieren mucho de los de tipo flexible.

Los pavimentos de concreto reciben la carga de los vehículos y la reparten a un área de la sub-rasante.

La losa por su alta rigidez y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga. Ella absorbe prácticamente toda la carga.

Estos pavimentos han tenido un desarrollo bastante dinámico. De acuerdo al adelanto tecnológico y científico correspondiente a la estructura de concreto

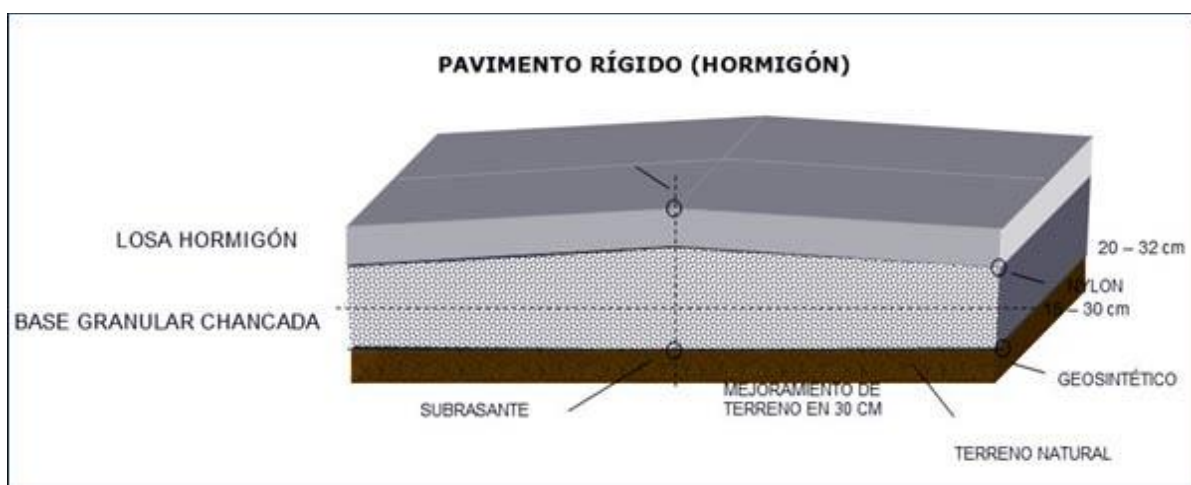


Figura 2.6 Estructura de un pavimento rígido

Está conformado superficialmente por losas de concreto apoyadas sobre una estructura granular calculada de acuerdo a la capacidad de soporte del terreno, que en algunos casos se denomina sub-base, y al volumen del tránsito, para garantizar su rigidez. Se le llama rígido porque al ser sometido a las cargas del tránsito debenser prácticamente nulas las deformaciones que ocurran, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

### **2.3.2 Pavimento Flexible**

La estructura de pavimento flexible está compuesta por varias capas de material. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa a estas cargas a la siguiente capa inferior. Por lo tanto, la capa más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga.

Con el fin de aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto la capa superior será la que posea la mayor capacidad de carga de material (y la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en la parte inferior.

#### **2.3.2.1 Capas de un pavimento flexible**

La típica estructura de un pavimento flexible consta de las siguientes capas:

*Capa superficial:* Esta es la capa superior y la capa que entra en contacto con el tráfico. Puede estar compuesta por uno o varias capas asfálticas.

*Base:* Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa de Superficial y, en general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).

*Capa Sub-base:* Esta es la capa (o capas), está debajo de la capa de base. La Sub-base no siempre es necesaria.

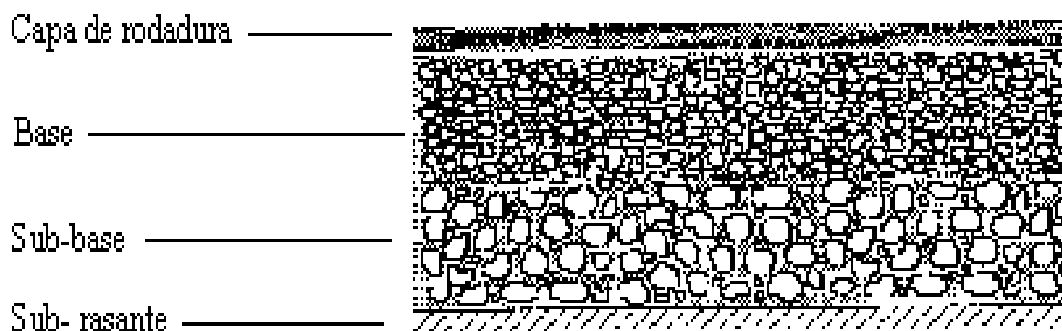


Figura 2.6 Estructura de un pavimento flexible

### **2.3.2.2 Duración de un Pavimento Flexible**

La duración útil de un pavimento puede definirse como el período durante el cual se espera que la estructura de pavimento continúe en función sin una pérdida apreciable de su valor de soporte, y mantenga una condición superficial aceptable.

La duración del pavimento puede ampliarse mediante varias medidas para su conservación, así como mediante la construcción planeada en etapas.

La construcción en etapas consiste en aplicar capas sucesivas de pavimento de acuerdo con un diseño, tomando en cuenta la distribución de cargas de tráfico durante un tiempo programado.

La vida útil de un pavimento flexible es de 10 años a 20 años pero todo esto depende de algunos factores tales como la falta de mantenimiento preventivo, el deterioro ocasionado por las aguas, los combustibles que derraman los automotores y el tránsito de vehículos pesados por vías que no han sido diseñadas con este propósito.

### **2.3.2.3 Finalidad de un Pavimento Flexible**

Tiene la finalidad de hacer cumplir los siguientes propósitos:

- Soportar y transmitir las cargas que se presentan con el paso de los vehículos.
- Ser lo suficientemente impermeable
- Soportar el desgaste producido por el tránsito y por el clima
- Mantener una superficie cómoda y segura (antideslizante) para el rodamiento de los vehículos
- Mantener el grado de flexibilidad para cubrir los asentamientos que presenta la capa inferior (base o subbase)

### 2.3.2.4 Ventajas y desventajas de un Pavimento Flexible

<b>Pavimentos Rígidos</b>
1.- Mayor vida útil (mínimo 30 años).
2.- La calidad de la superficie se mantiene por muchos años, y básicamente se conserva la estructura del pavimento.
3.- Resiste ataques químicos (aceites, grasas, combustibles).
4.- Mayores resistencias mecánicas y a la abrasión; la resistencia de los materiales aumenta con la edad.
5.- Estructuras menores de pavimentación (no más de 2 capas).
6.- Permite el flujo de tránsito por mayores periodos.
7.- Como función de la textura superficial, mayor resistencia al deslizamiento.
8.- Mantiene casi íntegra la capa de rodadura, no es tan sensible a la intemperie.
9.- Mayor distancia de visibilidad horizontal, proporcionando mayor seguridad.
10.- Facilidad de construcción. Puede ser ejecutado con equipos convencionales.

<b>Pavimentos flexibles</b>
1.- Vida útil máxima de 10 años.
2.- Son frecuentes los baches, hundimientos y roderas, causan daños a los vehículos.
3.- Es muy afectado por los mismos productos.
4.- Las deformaciones y deterioros que sufren disminuyen comodidad y seguridad, la resistencia tiende a disminuir, principalmente en climas calientes
5.- Requiere mayores excavaciones, movimiento de tierras y son más las capas a colocar.
6.- Las acciones rutinarias de conservaciones y reparaciones frecuentes interrumpen el tráfico y hacen más costosa la carretera
7.- Superficie que pierde textura rápido, principalmente en condición húmeda.
8.- Las altas temperaturas y lluvias promueven pérdida de material.
9.- Una visibilidad más reducida durante la noche y en condiciones climáticas adversas.
10.- Requieren plantas de asfalto y equipo especializado.

### 2.3.3 PAVIMENTOS ARTICULADOS DE ADOQUINES:

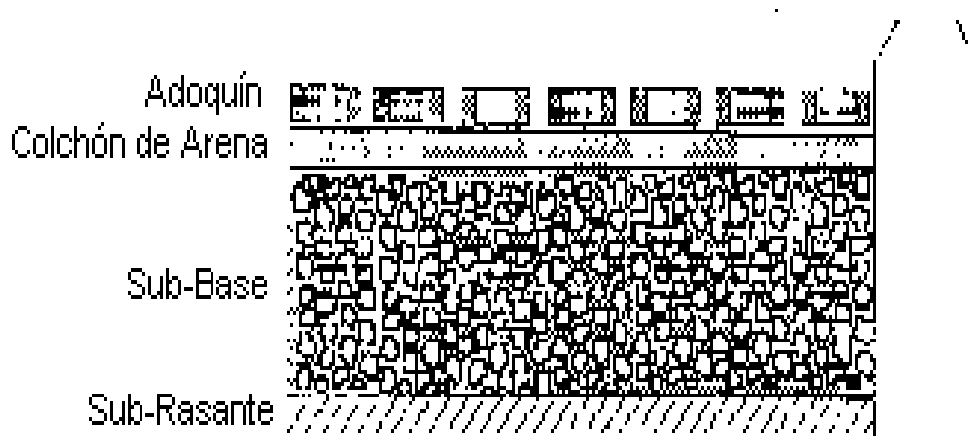


Figura 2.7 Estructura de un pavimento articulado

Está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto que se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de sub-base o directamente sobre la sub-rasante. Su diseño, como todo pavimento, debe estar de acuerdo con la capacidad de soporte de la subrasante para prevenir su deformación.

## Capítulo 3

### Refuerzo en carreteras con Geomallas biaxiales

Los pavimentos flexibles se caracterizan por ser sistemas multicapa, los cuales están diseñados para absorber y disipar los esfuerzos generados por el tráfico, por lo general estas estructuras poseen capas de mejor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores.

Tradicionalmente un pavimento rígido trabaja distribuyendo la carga aplicada hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante.

Este tipo de pavimento lo conforma una carpeta asfáltica sobre una capa de base que puede ser piedra partida, gravilla graduada o materiales estabilizados (con cemento, cal o asfalto) y una subbase con material de menor calidad.

Este pavimento nos proporciona un nivel de vida de 20 a 40 años, el mantenimiento es mínimo solo se realiza comúnmente en las juntas de la losa.

#### **3.1 Introducción**

La metodología que se presenta a continuación se basa en la versión de 1993 del método de diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO. La cual ha sido modificada para poder explicar la contribución estructural de las geomallas biaxiales coextruidas, según las investigaciones desarrolladas.



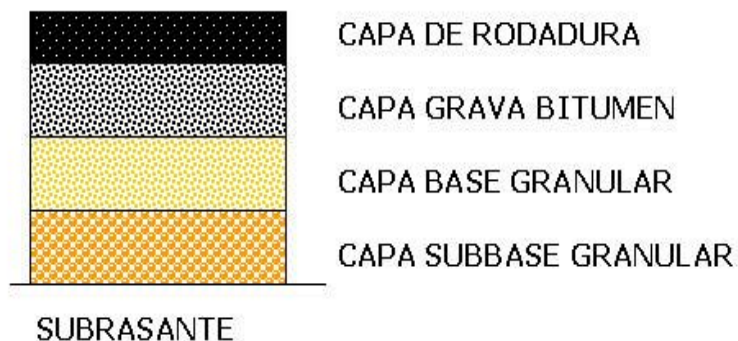


Figura 3.1 Sección típica de Estructuras de Pavimento Flexible.

La modificación del método de la AASHTO empleando geomallas biaxiales coextruidas para refuerzo de pavimentos flexibles, se realizó con base en ensayos de laboratorio y verificaciones en campo.

### **3.2 Mecanismo de refuerzo generados por las Geomallas**

A través de varias investigaciones, se ha encontrado que los 3 mecanismos principales de refuerzo que proporciona una geomalla biaxial son los que enunciaremos.

#### **3.2.1 Confinamiento Lateral de la Base o Subbase.**

Todo esto 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 módulo de la capa granular sobre la geomalla.



Figura 3.2 confinamiento lateral generado por la geomalla en un material granular.

### **3.2.2 Mejoramiento de la capacidad portante.**

El mejoramiento de la capacidad portante, que suele estar relacionado con el uso de una geomalla sobre sub-rasantes 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 (Figura 3). 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.

## PAVIMENTO FLEXIBLE

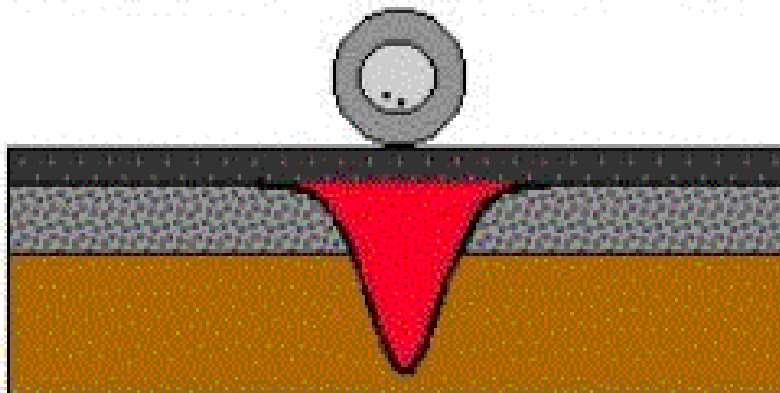


Figura 3.3 Capacidad Portante.

### 3.2.3 Membrana Tensionada

Este efecto se origina en la propiedad por la cual un material flexible alongado, al adoptar una curva por efecto de la carga, el esfuerzo normal sobre su cara cóncava es mayor que el esfuerzo sobre la cara convexa, la 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.

Todo este problema ocurre en niveles de deformación demasiados altos como los que suelen pasarse en vías sin pavimento después de un número de repeticiones de carga elevada.

De acuerdo con lo planteado en lo anterior, el mecanismo de mayor importancia para las estructuras variadas es el confinamiento lateral, mediante el cual se alcanzarían 3 beneficios principales que los enunciaremos:

33\* <http://oswaldodavidpavimentosrigidos.blogspot.com/>

- **Restricción del desplazamiento lateral de los agregados de la Base**

### o **Sub-base**

La colocación de una o varias capas de geomallas dentro o en el fondo de las capas de la base permite la interacción por cortante entre el agregado y la geomalla, a medida que la base trata de desplazarse lateralmente.

La carga por cortante es transmitida desde el agregado de la capa granular hacia la geomalla y la coloca en tensión.

La alta rigidez de la geomalla actúa para retardar el desarrollo de la deformación por tensión en el material adyacente a esta, situación que se genera constantemente en la zona donde se encuentra un diferencial de tipos de estructura.

Una deformación lateral pequeña de la base o subbase se traduce en menor deformación vertical de la superficie de la vía de acceso.

- **Mejoramiento en la distribución de esfuerzos sobre la sub-rasante**

En sistemas estratificados, cuando existe un material menos rígido por debajo de la base o subbase, un aumento en el módulo de la capa de base o sub-base resulta en una distribución de los esfuerzos verticales más amplia sobre la subrasante.

En términos generales, el esfuerzo vertical en la base o subrasante directa o indirecta por debajo de la geomalla y la carga aplicada debe disminuir a medida que aumenta la rigidez de la base. Esto se refleja en una deformación superficial menor y más uniforme.

- **Reducción del esfuerzo y deformación por corte sobre la sub-rasante**

La disminución de la deformación por corte transmite desde la base o subbase hacia la subrasante una medida que el corte de la base transmite las cargas tensionales hacia el esfuerzo, sumado a los menores esfuerzos verticales genera un estado de esfuerzos menos severo que el que lleva a una menor deformación vertical de la subrasante.

### **3.3 Ensayo de una estructura reforzada con Geomalla biaxial coextruida.**

Las conclusiones y los resultados empíricos fueron obtenidos durante el análisis de una estructura de pavimento con secciones reforzadas y no reforzadas, utilizadas para realizar el ensayo de pavimento.

Las variables que se estudiaron fueron las siguientes:

- Resistencia de la sub-rasante (CBR)
- Espesor de la capa de grava
- Tipo de geosintéticos
- Número de ejes equivalentes

Para verificar la capacidad de refuerzo de la geomalla en la base de una carretera aplicando procesos de laboratorio para poder obtener datos confiables y reproducibles para mediciones in situ y para realizar la comparación entre secciones reforzadas y no reforzadas.

Para analizar varias condiciones, se tomaron valores de CBR en la sub-rasante.

Las dimensiones de las capas de refuerzo fueron de 2 m por 4.5 m para dejar 0.15 m de traslapeo al largo de la vía en el eje central y 0.25 m de traslapeo al ancho de la carretera entre capas de refuerzo adyacentes.

Fueron instaladas varias secciones sin refuerzo, teniendo diferentes valores de resistencia en la subrasante y espesores de base. Para la sección típica de la carretera se excavó un azanjado donde se colocó

una sub-rasante de 0.7 m y CBR de 1%, 3%, 8% posteriormente, se colocó la geomalla por último se rellenó con espesores entre 0.25 m y 0.50 m con grava seleccionada y debidamente compactada.

Para la capa de hormigón asfáltico se mantuvo un espesor constante de 6 mm a lo largo de toda la vía.

Más de 200 ejes equivalentes fueron aplicados por un vehículo que transitaba en un solo sentido.

El vehículo seguía un camino definido por las líneas centrales demarcadas en la carpeta asfáltica, de esta forma se garantizaba que las llantas circularan siempre por el mismo lugar.

El vehículo utilizado en el ensayo, fue un camión estándar con eje tándem en la parte trasera y un eje sencillo en la parte delantera. Los ejes fueron cargados con 85 kN y 40 kN respectivamente.

El camión mantenía una velocidad constante de 25 km/h de su trayecto, de esta forma cada vuelta completada cada 55 seg aproximadamente.

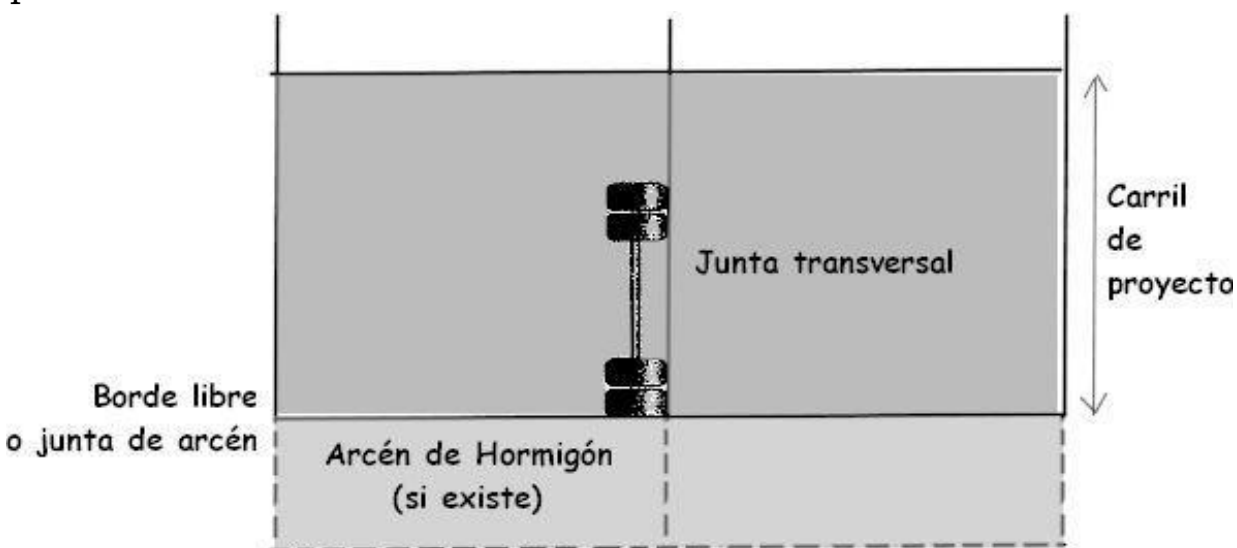


Figura 3.4 eje tándem.

34\* [http://www.carreteros.org/ccaa/legislacion/carreteras/andalucia/normativa/firmes/apartados/5\\_5.htm](http://www.carreteros.org/ccaa/legislacion/carreteras/andalucia/normativa/firmes/apartados/5_5.htm)

Las conclusiones obtenidas en el ensayo de las secciones reforzadas y no reforzadas, fueron realizadas a través de gráficos (en función de la resistencia del suelo de subrasante, número de ciclos y coeficientes de capas), estos gráficos permiten a los INGENIEROS diseñar

correctamente, estructuras de pavimentos flexibles utilizando refuerzos con GEOMALLAS COEXTRUIDAS.

### 3.4 Geomallas Tenax

(SON GEOMALLAS RIGIDAS CON VALORES DE ESFUERZOS Y MODULOS DE RESISTENCIA ALTAS), se caracterizan por una excelente capacidad de efecto llamado (interlock).

Los tipos de geomallas considerados han sido divididos en 2 tipos basándose en los valores de su resistencia a tensión:

- Tipo A, VALOR DE RESISTENCIA A LA TENSION DE 20 KN/M
- Tipo B, VALOR DE RESISTENCIA A LA TENSION DE 30 KN/M

### 3.5 Geomallas Tensar

Las geomallas Tensar cuentan con una estabilidad dimensional necesaria para reforzar los materiales áridos de relleno sobre subrasantes naturales gracias a un estricto confinamiento de las partículas que limitan su movimiento. Al aplicar cargas a la capa de relleno, la influencia del refuerzo de geomallas Tensar se extiende a lo largo y hacia arriba a través del relleno, distribuyendo eficientemente la carga impuesta sobre un área de extensión suficiente para prevenir el punzonamiento de la subrasante natural.

Los diseños para construcción sobre suelos blandos con geomallas Tensar implican la determinación de:

- Condiciones de carga máxima
- Fortaleza de la sub-rasante
- Tipo de Fortaleza de los materiales de relleno disponibles
- Espesor requerido de los materiales de relleno con el refuerzo de las geomallas Tensar.

▼ *Depósitos comerciales e industriales*

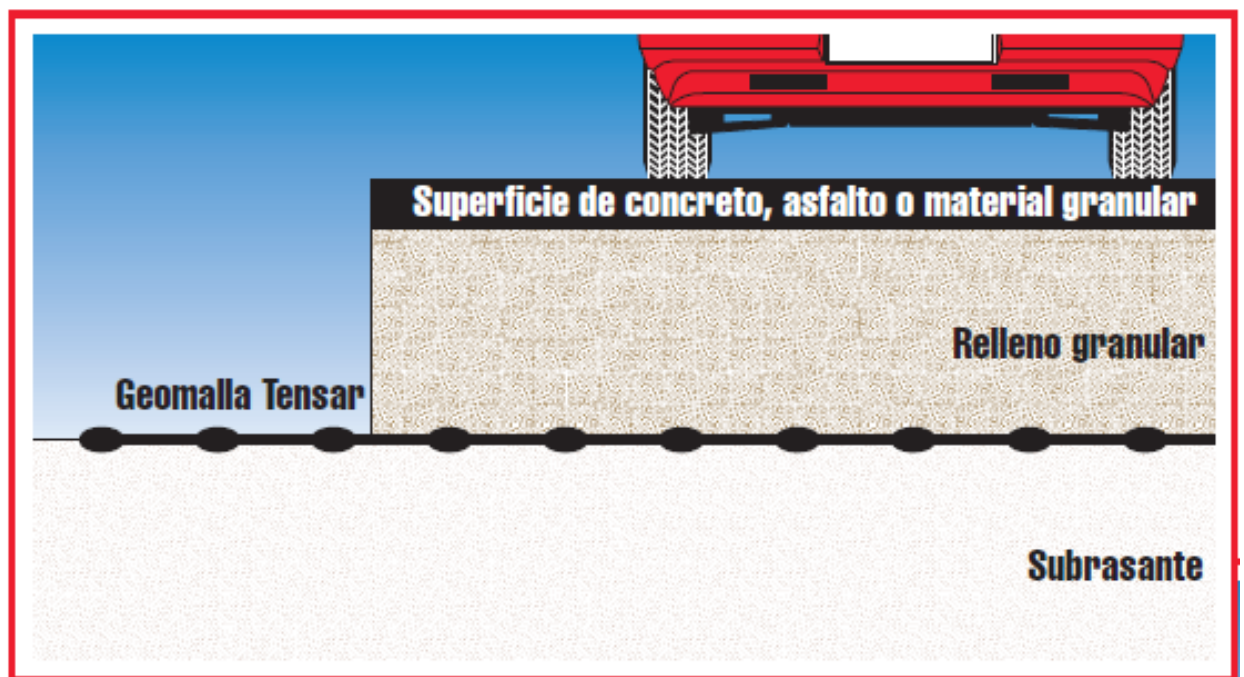


Fig.3.5 Geomalla tensar en el pavimento

Las geomallas Tensar han sido diseñadas para cumplir con las más estrictas exigencias cuando se trata de construir sobre subrasantes de poca resistencia. Estas geomallas cuentan con la mezcla precisa de características que les permitendistribuir carga y mejorarla sub-rasantes.



### 3.5.1 Características Principales de la geomalla Tensar

**ESTRUCTURA DE MALLA ABIERTA:** Para interactuar con materiales de relleno y formar así un material compuesto con una capacidad de carga mayor.

**GRAN FORTALEZA DE UNIONES:** Para garantizar la transferencia de las cargas a lo largo y ancho de la malla.

**RIGIDEZ TORSIONAL:** Para simplificar la instalación y ofrecer resistencia a la deformación una vez instalada.

**DURABILIDAD:** Para sobrevivir a los esfuerzos de la instalación y resistir la degradación una vez instalada.

Todas estas características forman una CADENA de propiedades que confiere a la geomalla Tensar su capacidad para mejorar el rendimiento de sub-rasantes de poca resistencia.

Estas geomallas han sido creadas exclusivamente para reforzar el suelo mejor que cualquier otra cosa que se encuentre bajo tierra.

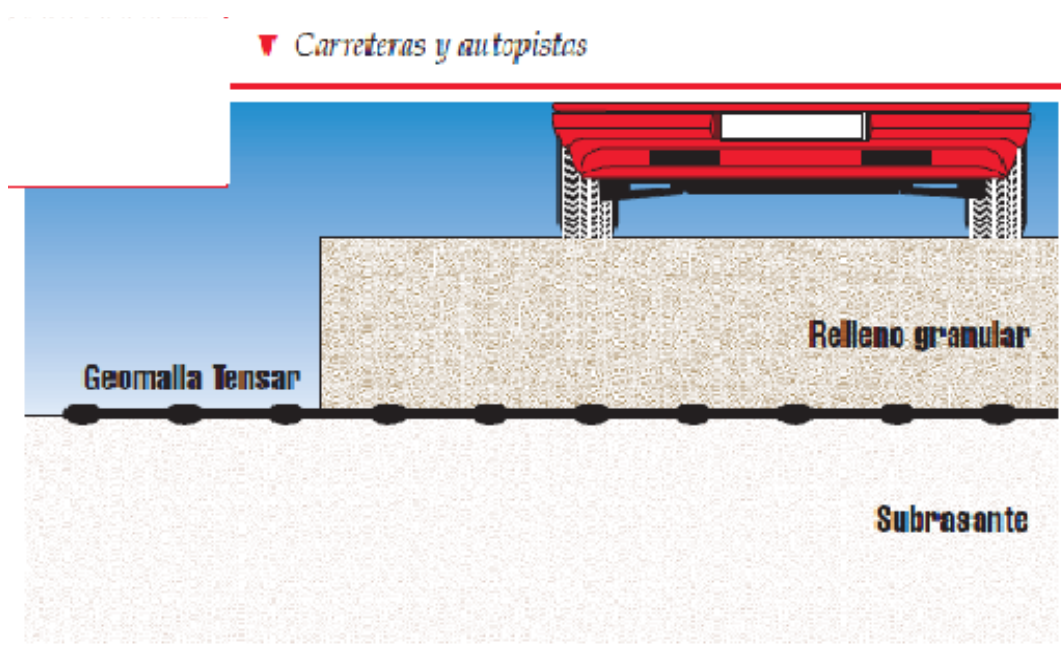


FIG.3.6 COLOCACION DE GEOMALLA TENSAR EN CARRETERAS Y AUTOPISTAS

### **3.5.2 Diseño para mejorarla sub-rasante**

Las sub-rasantes débiles representan un problema común en la construcción de pavimentos. Ya que la sub-rasante es el cimiento del pavimento, su fallo conduce al deterioro rápido de la estructura del pavimento.

Tradicionalmente, las sub-rasantes débiles o pobres han sido removidas para ser reemplazadas con relleno importado o han sido estabilizadas químicamente.

Ambas opciones son caras y consumen mucho tiempo, especialmente en comparación con la solución Spectra.

El sistema Spectra mejora el desempeño de las sub-rasantes existentes distribuyendo las cargas sobre una superficie más amplia, lo cual reduce el bombeo y el fallo de esfuerzo cortante, al mismo tiempo que aprovecha al máximo la capacidad de carga de las sub-rasantes.

Cuando hay que sobreexcavar o rellenar, las geomallas Tensar pueden reducir o aun eliminar la necesidad de sobre excavar, remover suelo débil o contaminado o importar rellenos selectos caros. Los resultados son una construcción más rápida y menores costos.

Cuando se considera la estabilización con cal o cemento, las geomallas Tensar pueden brindar una alternativa. Se puede lograr el soporte en el tiempo, el costo y los peligros ambientales que entrañan los métodos de estabilización química, y sin impedir el drenaje interno.

Cuando se requieren secciones de relleno profundas, las geomallas Tensar pueden reducir el espesor del relleno en hasta el 50%, logrando la distribución de carga necesaria al mismo tiempo.

Como resultado se reducen los costos de relleno selecto y se completa el trabajo más rápidamente.

Cuando se construyen caminos pavimentados o no pavimentados, playas de estacionamiento, aeropuertos, pistas de rodaje, líneas ferroviarias o alcantarillados, el mejoramiento de las subrasantes con geomallas Tensar produce un trabajo más económico, ahorra materiales y abrevia el tiempo de construcción.

En cualquier suelo débil, las geomallas Tensar distribuyen las cargas impuestas, mejoran la capacidad de carga, reducen el ahuellamiento y brindan una alternativa a los costosos métodos convencionales.



FIG.3.7 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN EL PAVIMENTO MEDIANTE LA GEOMALLA TENSAR

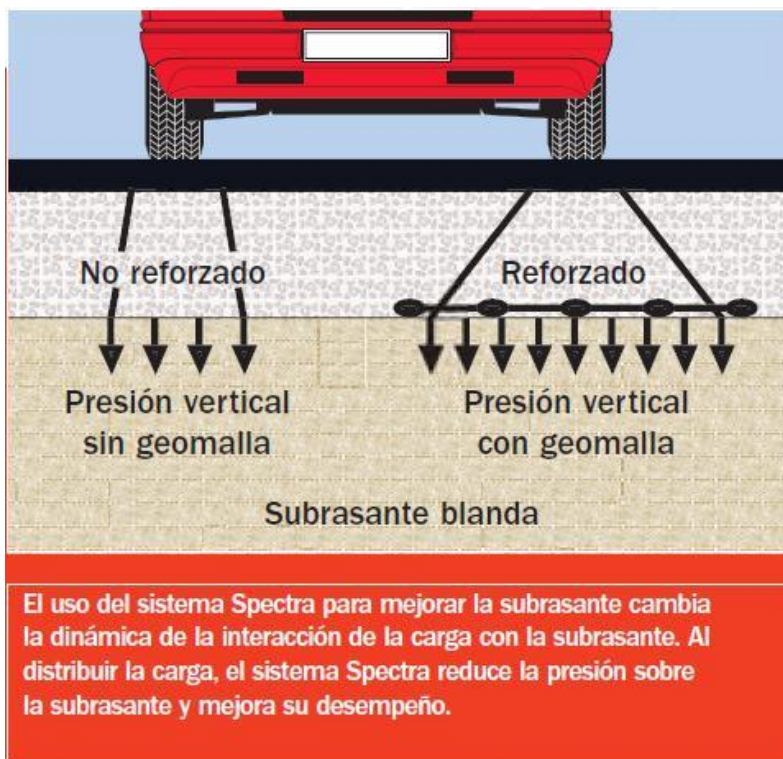


FIG.3.8 COMPORTAMIENTO DE LA GEOMALLA TENSAR EN LA SUB-RASANTE

### 3.5.2 Diseño para mejorar la Base

Con frecuencia, los sistemas de pavimento fallan prematuramente porque el material de la capa base se esparce lateralmente de los senderos de las ruedas (carga). Esto produce el huellamiento y finalmente la rotura de la superficie del pavimento.

Al proporcionar confinamiento, el sistema Spectra permite que la capa base reforzada resista el desplazamiento lateral, mejorando así el desempeño estructural del pavimento.

Este sistema no sólo es fácil de instalar, sino que ahorra tiempo y dinero, reduciendo la sobreexcavación, disminuyendo los materiales necesarios para la sección de pavimento y prolongando la vida útil del pavimento.

Al mismo tiempo que brindan un costo total menor del proyecto, las geomallas Tensar BX para reforzar la capa base pueden ayudar a cumplir los calendarios de construcción del pavimento o hasta facilitar su terminación antes de lo programado.

El sistema Spectra para reforzar la capa base también ha triunfado en la prueba más difícil de todas: el desempeño en el mundo real.

Las geomallas Tensar BX han sido utilizadas por departamentos viales estatales, entidades de distrito y municipales locales, así como propietarios particulares, demostrando el valor económico y estructural del sistema Spectra una y otra vez.

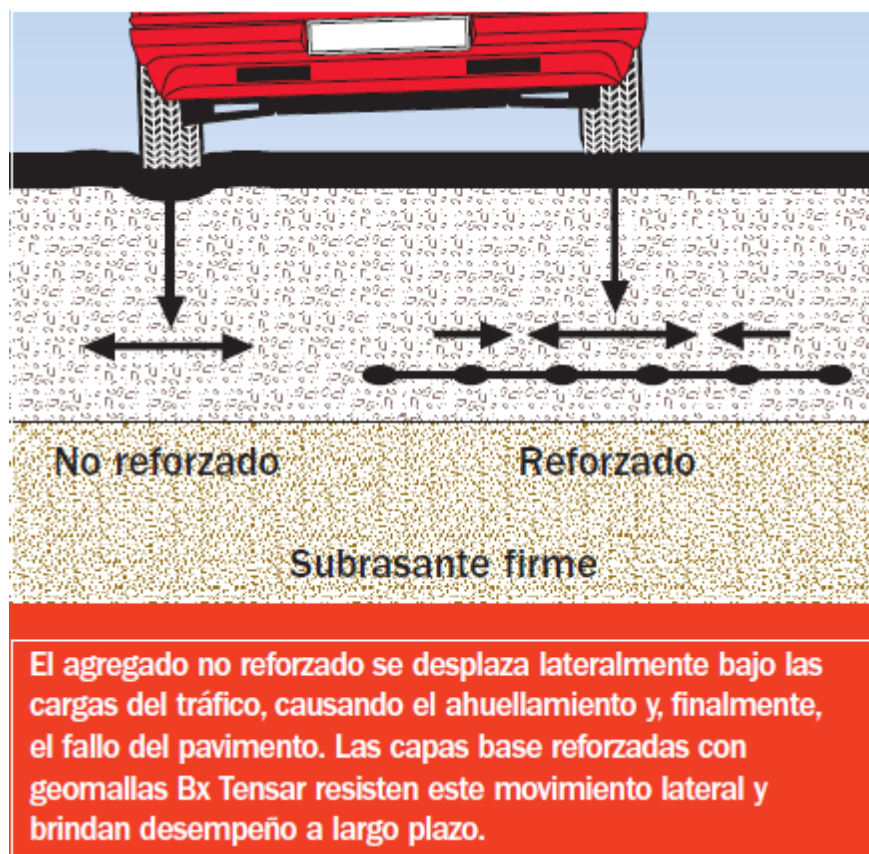


FIG.3.9 COMPORTAMIENTO DE LA GEOMALLA TENSAR EN LA BASE

### 3.6.- MÉTODO AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

El método de diseño AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), originalmente conocido como AASTHO, fue desarrollado en los Estados Unidos, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años partir de los deterioros que experimentan representar las relaciones deterioro - sollicitación para todas las condiciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

Los modelos matemáticos respectivos también requieren de una calibración para las condiciones locales del área donde se pretenden aplicar.

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

*Desviación estándar normal*      *Desviación estándar global*      *Número estructural*  
*Ejes equivalentes*      *Módulo de resiliencia*

El modelo de ecuación de diseño está basado en la pérdida del índice de servicialidad ( $\Delta PSI$ ) durante la vida de servicio del pavimento;

siendo éste un parámetro que representa las bondades de la superficie de rodadura para circular sobre ella.

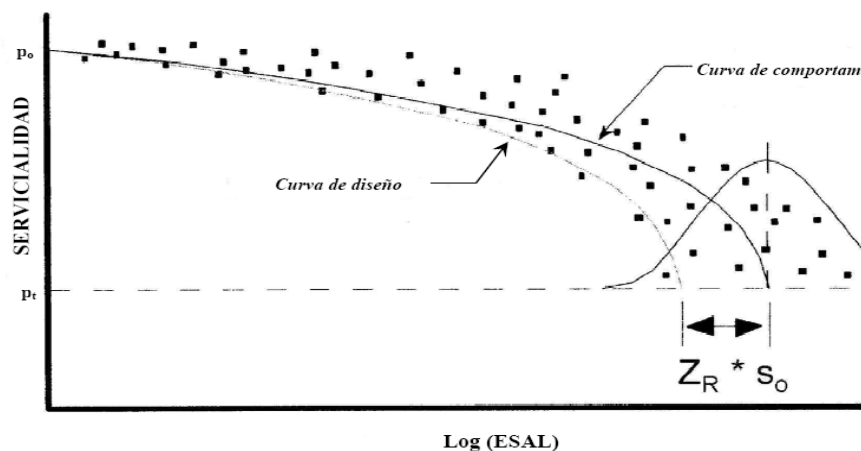


Figura 3.10 Gráfico Ejes Equivalente (ESAL) vs. Serviabilidad ilustrando la tendencia. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

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
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Valores de la estándar normal,  $Z_R$ , correspondientes a los niveles de confiabilidad, R Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

*Valores de Nivel de confiabilidad R recomendados Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO*

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.

Cada valor de R está asociado estadísticamente a un valor del coeficiente de STUDENT (ZR). A su vez, ZR determina, en conjunto con el factor "So", un factor de confiabilidad.

### **3.6.1 Desviación ESTANDAR**

Para pavimentos flexibles: Desviación estándar entre 0.30 y 0.50



### 3.6.2

#### Número estructural indicativo de espesor total requerido de pavimento (SN)

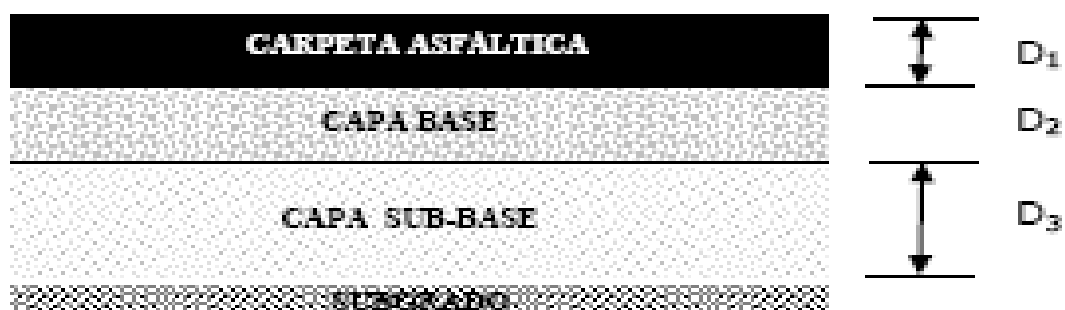


Figura 3.11 Estructura esquemática de un pavimento flexible

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots + a_n D_n m_n$$

a = coeficiente estructural de la capa

D = espesor, en pulgadas, de la capa

m = coeficiente de drenaje de la capa

n = número de capas

40\*<http://www.imcyc.com/revistacyt/mar10/artportada.htm>

### 3.6.3 Coeficientes estructurales

Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características ingenieriles, tienen un coeficiente estructural "a". Este coeficiente representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitantes.

Estos coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de la prueba AASHO de 1958-60 y ensayos posteriores que se han extendido a otros materiales y otras condiciones para generalizar la aplicación del método.

Tráfico, ESAL	Concreto asfáltico, $D_1$	Capa Base, $D_2$
50 000*	1,0 (o tratam. Superficial)	4
50 001 a 150 000	2,0	4
150 001 a 500 000	2,5	4
500 001 a 2 000 000	3,0	6
2 000 001 a 7 000 000	3,5	6
7 000 000*	4,0	6

*Valores mínimos en pulgadas. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO*

#### Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica( $a_1$ )

Si se conoce el Módulo de Elasticidad de la mezcla asfáltica en psi o si se conoce la Estabilidad Marshall en libras.

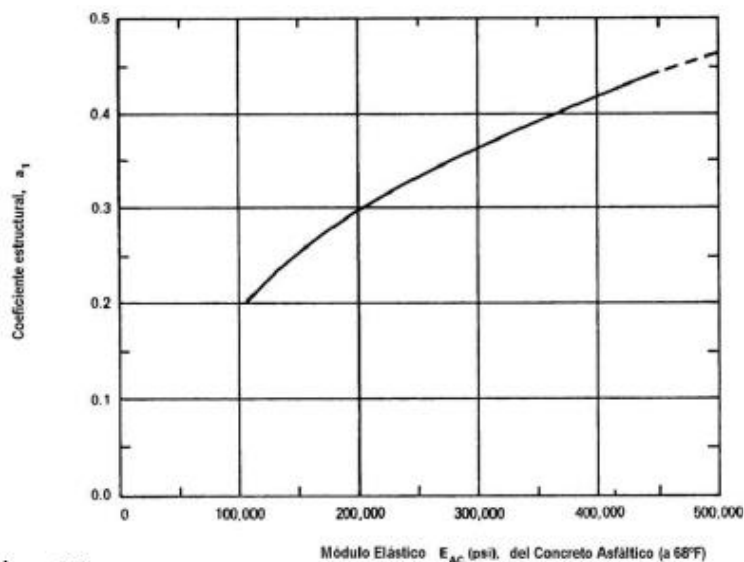


Figura 3.12 Carta para estimar coeficiente estructural  $a_1$  a partir del módulo elástico (carpeta asfáltica)  
Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

### Coefficiente estructural para la capa base ( $a_2$ )

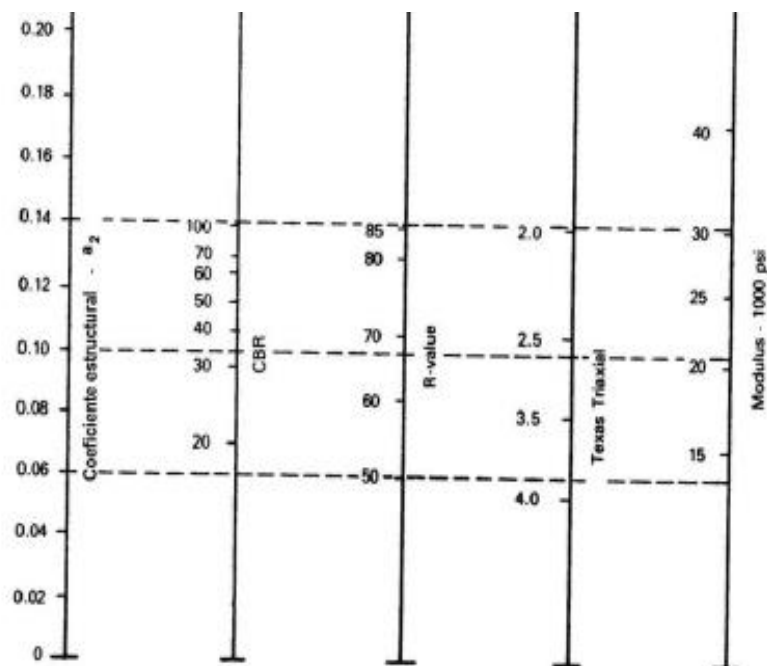


Figura 3.13 Nomograma para estimar coeficiente estructural  $a_2$  para una base granular. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

### Coeficiente estructural para la capa sub-base (a3)

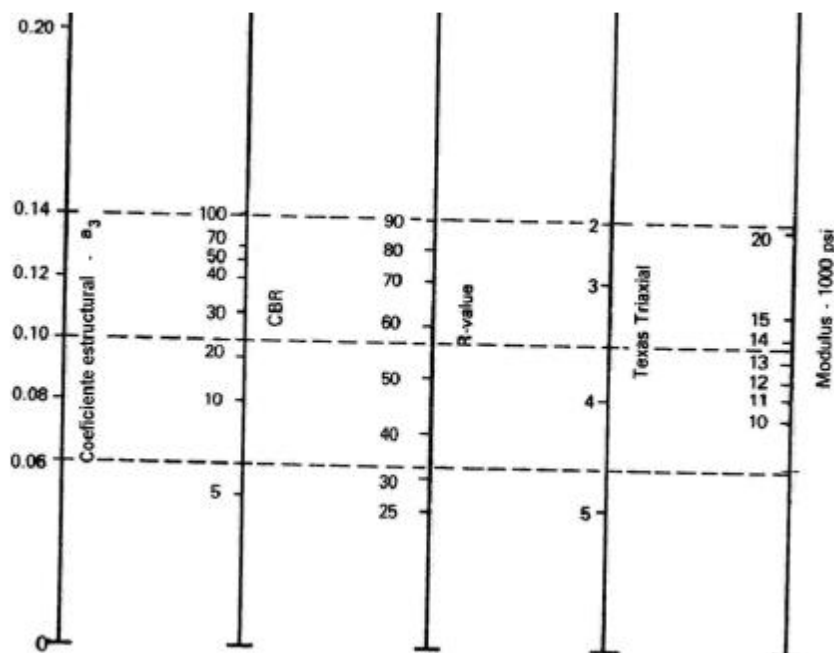


Figura 3.14 Nomograma para estimar coeficiente estructural  $a_3$  para una sub-base granular. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

### 3.6.4 Coeficientes de drenaje (mi)

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura de pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Buena	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
<b>Regular</b>	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	<b>0,80</b>
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Deficiente	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Tabla 3.15 Coeficientes de drenaje  $m_i$  recomendados. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

La calidad del drenaje se define en términos del tiempo en que el agua tarda en ser eliminada de las capas granulares (capa base y sub-base):

<b>Calidad de drenaje</b>	<b>Agua eliminada en</b>
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
deficiente	No drena

*Calidad de drenaje de una capa del pavimento. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO*

Para calcular el tiempo en que el agua es eliminada será necesario conocer la permeabilidad,  $k$ , pendientes, espesores  $D_2$  y  $D_3$  de los materiales a utilizar como capa base y sub-base, respectivamente.

### 3.6.5 Diferencia entre el índice de servicialidad inicial, $p_o$ , y el índice de servicialidad terminal de diseño, $p_t$ ( $\Delta PSI$ )

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

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

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

Figura 3.16 Índice de serviciabilidad. Fuente: Guía para pavimentos flexibles de la AASHTO

Posteriormente se estableció una combinación matemática de mediciones físicas en los pavimentos, siendo una forma más objetiva de evaluar este índice.

$$p = 5,03 - 1,91 \log[1 + S_v] - 0,01 [c_f + P]^{1/2} - 1,38 RD^2$$

**Sv** : Varianza de las inclinaciones de la rasante existente en sentido longitudinal respecto de la rasante inicial. Mide la rugosidad en sentido longitudinal.

**cf** : Suma de las áreas fisuradas en ft<sup>2</sup> y las grietas longitudinales y transversales en pie, por cada 1000 ft<sup>2</sup> de pavimento.

**P** : Área bacheada en ft<sup>2</sup> por cada 1000 ft<sup>2</sup> de pavimento.

**RD**: Profundidad media del ahuellamiento en pulgadas. Mide la rugosidad transversal.

**po** = 4,2- (4,2 es la máxima calificación lograda en la AASHO Road Test para pavimento flexible).

**pt** = índice más bajo que puede tolerarse antes de realizar una medida de rehabilitación = 2,5+ para carreteras con un volumen de tráfico alto ó 2,0+ para carreteras con un volumen menor.

### **3.6.6 Módulo de Resilencia, en PSI, del material de sub-rasante (MR)**

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

### Relaciones CBR - Módulo de Resiliencia:

En nuestro país no existe experiencia ni equipos para determinar el Módulo de Resiliencia. Ante esta carencia se recurre a correlaciones con el CBR.

Se puede utilizar la siguiente correlación entre el CBR de la terracería y el módulo de resiliencia:

$$\text{MR (psi)} = 1500 \text{ CBR}$$

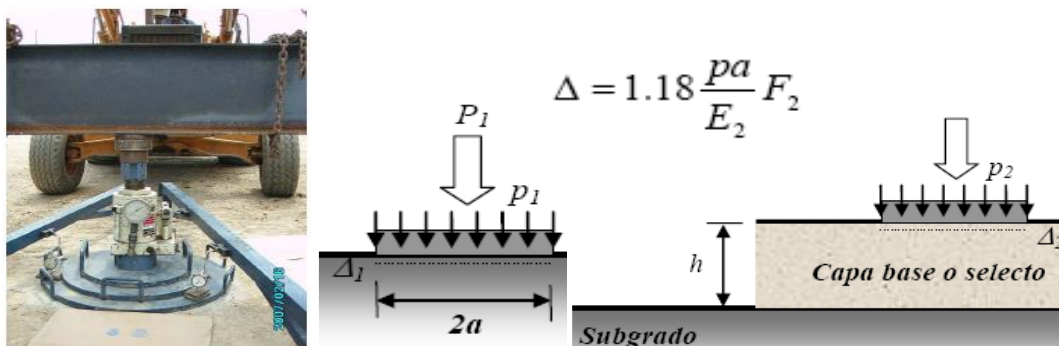


Figura 3.17 Ensayo para hallar Módulo de elasticidad



## Cálculo

$$R = 95 \%$$

$$S_o = 0.35$$

$$W_{18} = 5 \times 10^6$$

### Datos de los materiales para el diseño

Material	Mr ( Mpa-psi )	Mi
Carpeta asfáltica	2760 (400,000 ) <sup>2</sup>	-
Base	207 ( 40,000 )	0.80
Subbase	105 ( 20,000 )	0.80
Subrasante	34 ( 5,000 )	-

De acuerdo a los Módulos de Resiliencia (Mr) se obtienen los números estructurales de diseño (SN), utilizando el ábaco de la figura 3.17 de la siguiente forma:

Comenzando en el lado izquierdo del ábaco, en donde dice Confiabilidad R (%), se sale con valor de  $R = 0.95$

En la siguiente línea inclinada que dice .Desviación Standard  $S_o$ . Se pone el valor de  $S_o = 0.35$  y uniendo este punto con el de  $R = 0.95$  del punto anterior, se traza una línea que intercepte la siguiente línea **TL** en un punto que va a servir de pivote.

En la siguiente línea vertical dice. No. Total de ESAL's aplicados  $W_{18}$  (millones), en esta encontramos el valor de  $5 \times 10^6$  ESAL's = 5,000,000 = 5 en el ábaco; entonces uniendo el punto de pivote de la línea anterior con este nuevo punto, se encuentra otro punto pivote en la siguiente línea vertical **TL**.

En la siguiente línea vertical que dice Módulo Resiliente efectivo de la subrasante (ksi), se encuentra el valor de  $M_r$  (Mpa-psi) = 5000 = 5 para la subrasante, se une el último punto pivote encontrado anteriormente y el valor de 5 en esta línea hasta encontrar la primera línea vertical izquierda del cuadro situado a la extrema derecha.

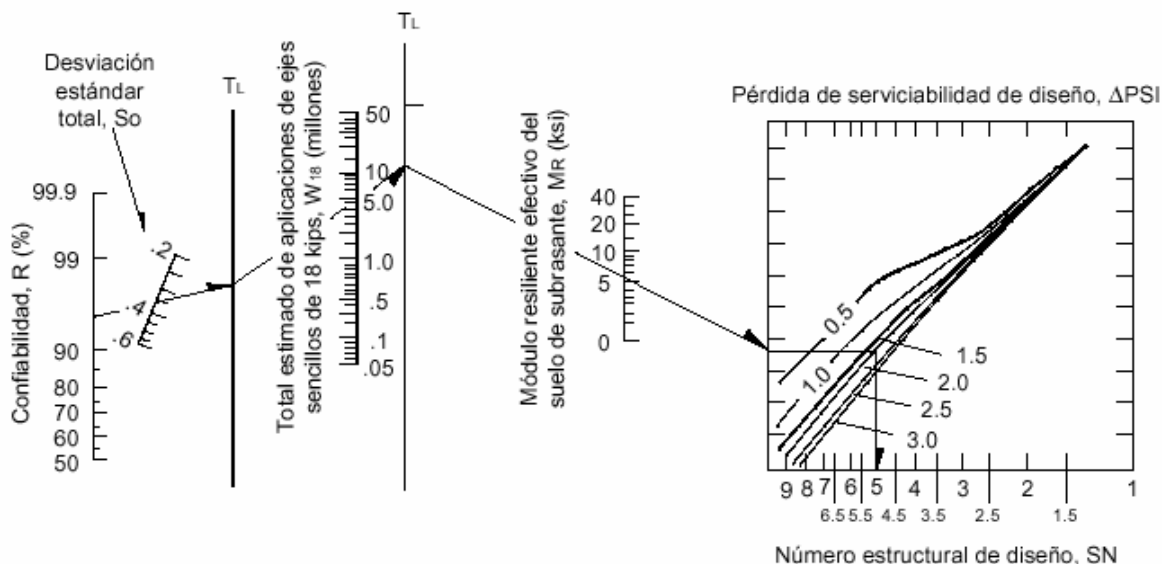


Figura 3.18 nomograma para numero estructural

De este punto de intersección, se continúa horizontalmente hasta encontrar la línea inclinada que corresponde a un valor de  $\Delta PSI = 2,0$  que es Pérdida de serviciabilidad de diseño, de este punto se baja a la línea inferior del cuadro en donde se encuentra el Número estructural de diseño SN, que para el caso es **5.0** (para proteger la sub-rasante) que es el Número Estructural **requerido** para proteger toda la estructura del pavimento.

Para los siguientes valores de  $M_r = 20,000 = 20$  el valor de SN<sub>2</sub> es 3.60 (para proteger la sub-base granular) y para  $M_r = 40,000 = 40$  el valor de SN<sub>1</sub> es de 2.08 (para proteger la base triturada).

Seguidamente para encontrar los valores de los coeficientes estructurales de capa (a **x**), se hace uso de las figuras siguientes en función del módulo elástico del concreto asfáltico y los módulos de resiliencia de la base y la sub-base, para lo cual se procede así:

- Con el valor del módulo elástico del concreto asfáltico ( $M_{pa} = 400,000$ ), se encuentra el coeficiente estructural de capa a **1** haciendo uso de la figura 3.18; para el caso, saliendo del valor de 400,000 en la figura hacia arriba a interceptar la línea de pivote y de allí horizontalmente hacia la izquierda para encontrar el valor correspondiente de a **1** = 0.42.

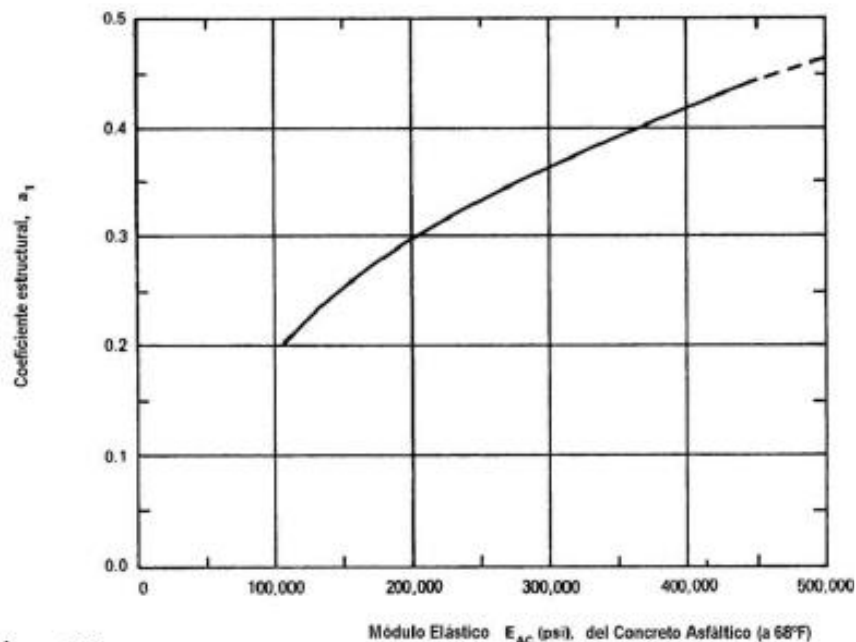


Figura 3.19

Figura 3.19

- Para encontrar el valor de coeficiente de capa **a2** de las bases trituradas ó granulares, se usa la figura 3.19 y con el Módulo de resiliencia  $M_r = 40,000$  ó 40 (PSI) , en la línea vertical del lado extremo derecho, horizontalmente se traza una línea hasta encontrar la línea vertical del extremo izquierdo, lo cual da un valor de **a2** = 0.18

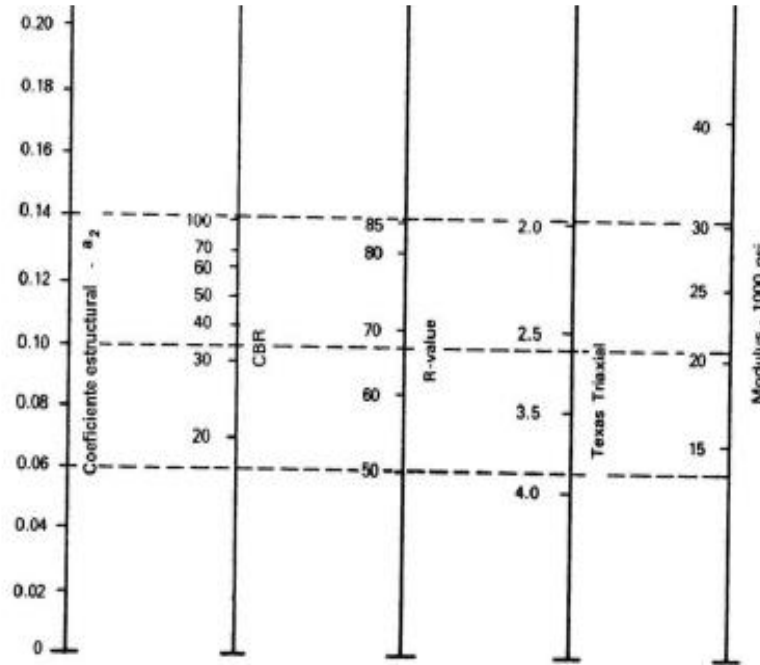


Figura 3.20

- Para encontrar el valor del coeficiente de capa a $3$  en la subbase, se usa la figura 3.20 y con el Módulo de resiliencia  $M_r = 20,000$  ó 20 (PSI) (Tabla 7-3) en la línea vertical del lado extremo derecho, horizontalmente se traza una línea hasta encontrar la línea vertical del extremo izquierdo, lo cual da un valor de  $a_3 = 0.14$ .

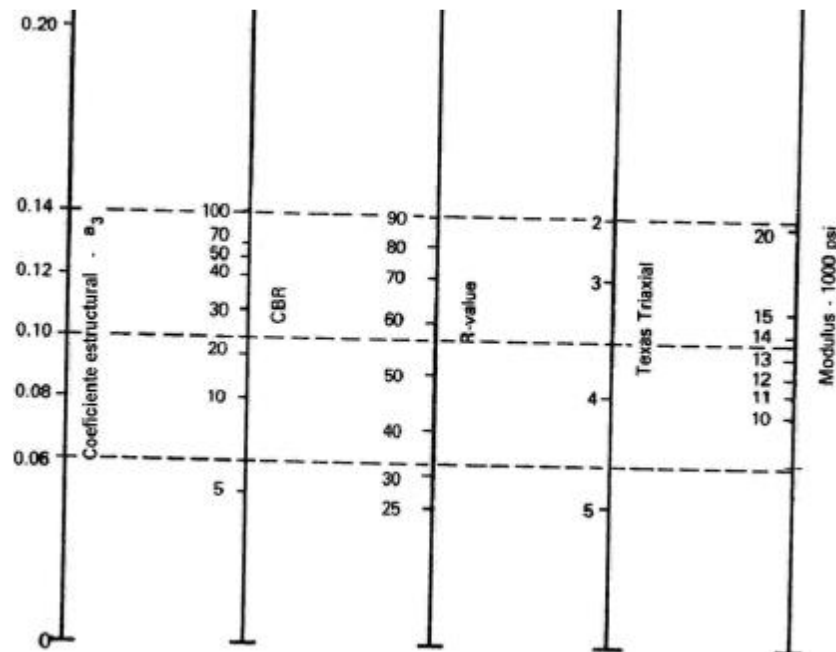


Figura 3.21

Se calcula el espesor de capa asfáltica, suponiendo un  $M_r$  igual al de la base; así se calcula el  $SN_1$  que debe ser absorbido por el concreto asfáltico es:

$$D_1 \geq SN_1 / a_1 = 2.08 / 0.42 = 4.95'', \text{ adoptar } 5''$$

Entonces el  $SN_1^*$  absorbido por el Concreto Asfáltico es:

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* = 0.42 \times 5 = 2.1$$

Después se calcula el espesor mínimo de la capa de base

$$D_2 \geq (SN_2 - SN_1^*) / a_2 \times m_2$$

$$D_2 \geq (3.60 - 2.1) / (0.18 \times 0.80) = 10.42'' \text{ adoptar } 11''$$

Entonces el  $SN_2^*$  absorbido por la base es:

$$SN_2^* = a_2 \times m_2 \times D_2^*$$

$$SN_2^* = 0.72$$

Después se calcula el espesor de la sub-base es:

$$D_3^* \geq (SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)) / a_3 \times m_3$$

$$D_3^* \geq (5.0 - (2.1 + 0.72)) / (0.10 \times 0.80) = 27.25 \text{ adoptar } 27$$

Siendo el  $SN_3^*$  absorbido por la sub-base es:

$$SN_3^* = a_3 \times m_3 \times D_3^*$$

$$SN_3^* = 0.10 \times 0.80 \times 27 = 2.16$$

Para verificación tenemos que es la suma de los valores de las fórmulas:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* = 2.1 + 0.72 + 2.16 = 4.98 \geq 5.0$$

Por lo tanto, los espesores de diseño que cumplan con las especificaciones de los materiales son:

**Capa asfáltica:** 5.0. (12.7 centímetros)

**Base:** 11.0. (27.94 centímetros)

**Subbase:** 27.0. (68.58 centímetros)

Si el resultado de la suma de los números estructurales es menor al número estructural requerido, es necesario revisar los espesores asumidos en el inicio, incrementándolos para obtener un número estructural mayor. Se deben considerar otros factores que pueden modificarse para obtener el número estructural requerido (materiales, drenajes, períodos de diseño, etc.)

### 3.7 MÉTODO AASHTO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES REFORZADOS CON GEOMALLAS COEXTRUIDAS.

La contribución estructural de un geomallado en un sistema de pavimentos flexible puede cuantificarse con el incremento al refuerzo del coeficiente de la capa de la base de la vía.

Por lo anterior se presenta la ecuación:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 LCR D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

- $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  = Coeficientes de capa representativos de carpeta, base y sub-base respectivamente.
- $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  = Espesor de la carpeta, base y sub-base respectivamente.
- $m_2$  y  $m_3$  = Coeficientes de drenaje para base y sub-base respectivamente.

Donde LCR tiene un valor superior a 1. Este valor es determinado basándose en los resultados del laboratorio y en los ensayos de campo en sistemas de pavimentos flexibles con y sin utilización de las geomallas, como se describe en la siguiente ecuación.

$$LCR = \frac{SN_r - SN_u}{a_2 D_2} + 1$$

- $SN_r$  (Número estructural de la sección reforzada)
- $SN_u$  (Número estructural de la sección no reforzada)

Basándose en la ecuación se puede calcular el valor de LCR el cual

se obtuvo de los ensayos realizados a la sección típica de la vía.

La contribución estructural de la geomalla de refuerzo es casi constante cuando el valor de CBR de la subrasante es superior a 3% mientras que para un valor de 1% en el CBR de la sub-rasante la contribución estructural de la geomalla es significativamente más alta.

La reducción en el espesor de la base puede ser evaluada con el uso de una geomalla asumiendo que no existe una capa de sub-base.

$$D_2 = \frac{SN_r - a_1 D_1 m_2}{LCR a_2 m_2}$$

Se puede reducir el espesor de la capa de asfalto mediante la ecuación

$$D_1 = \frac{SN_r - LCR a_2 D_2}{a_1}$$

Usando el siguiente gráfico de diseño es posible calcular el espesor de  $D_2$  de la base en una vía reforzada en pavimentos flexibles. De acuerdo a los valores ( $D_1, D_2, D_3, a_1, a_2, m_2$ )

De una sección no reforzada es posible determinar el SN (número estructural) para una sección reforzada considerando que el CBR de la subrasante es proporcional al valor del LCR dado al gráfico de diseño.

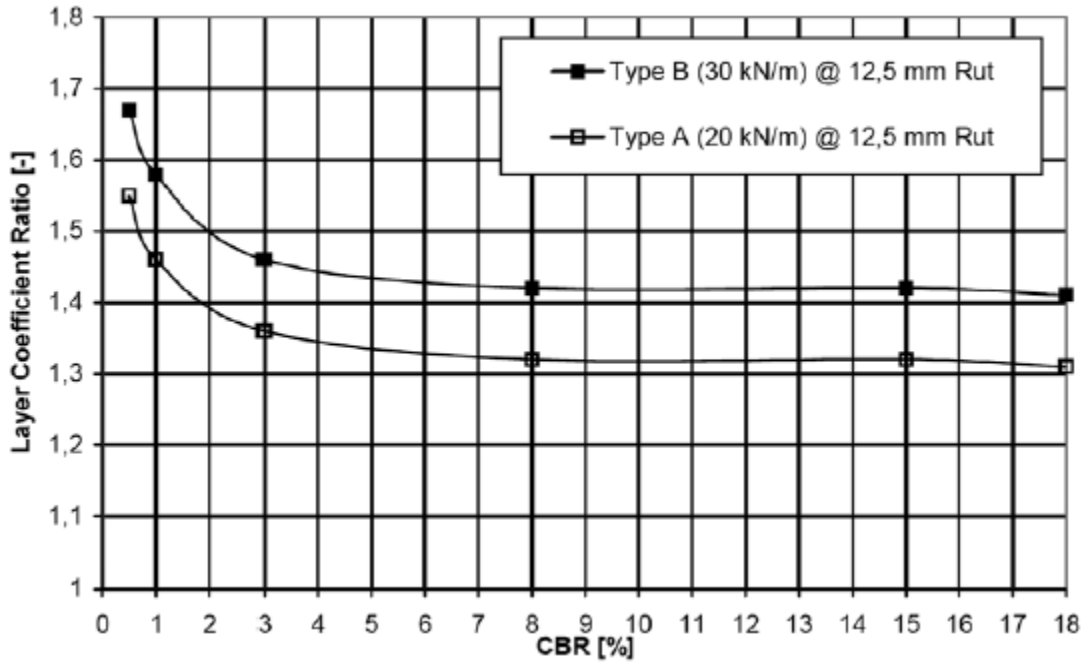


Figura 3.22 LCR vs CBR de la sub-rasante

**CALCULO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZANDO GEOMALLA**

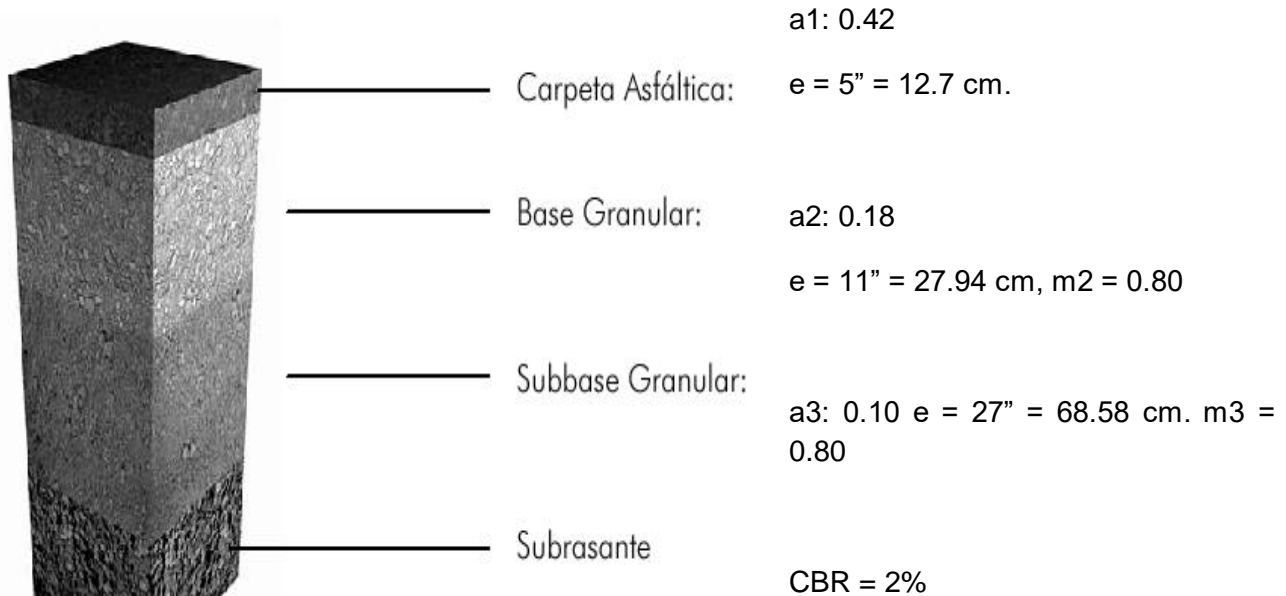


Figura 3.23



### **Espesores de capas de pavimento según diseño**

Primero se procede a calcular el número estructural según metodología AASHTO de la estructura.

Utilizando la ecuación del número estructural y con los valores de coeficientes ya obtenidos, se obtiene el número estructural de la estructura original o sin refuerzo. Los espesores de cada capa deben manejarse en pulgadas.

Para nuestro caso.

$$SN1^* = a_1 \times D1^* = 0.42 \times 5 = 2.1$$

$$SN2^* = a_2 \times m_2 \times D2^*$$

$$SN2^* = 0.18 \times 0.80 \times 11 = 1.58$$

$$SN3^* = a_3 \times m_3 \times D3^*$$

$$SN3^* = 0.10 \times 0.80 \times 27 = 2.16$$

$$SN = a_1 D1 + a_2 D2 m_2 + a_3 D3 m_3 = 2.1+1.58+2.16=5.84$$

Luego se calcula la estructura sustituyendo la base granular.

Con el número estructural inicial, se realiza una sustitución de la base granular por sub-base granular, determinando espesores equivalentes obteniendo el mismo valor numérico del número estructural inicial. Este nuevo espesor se denomina  $D_3'$ .

$$SN = 5.84$$

$$SN = a_1 D_1 + a_3 D_3 \cdot m^3$$

$$5.84 = 0.42 \times 5 + 0.10 \times D_3' \times 0.80$$

$$D_3' = 3.74 / (0.10 \times 0.80)$$

$$D_3' = 46.75 \text{ pulg}$$

Luego se calcula de nuevo el espesor de la capa de sub-base con refuerzo empleando una Geomalla de 30 KN/m (Tipo B), en este caso aportado por la geomallabi-axial para una sub-rasante con CBR = 2%, se obtiene la Figura 3.23 un valor de LCR o coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de la estructura de:

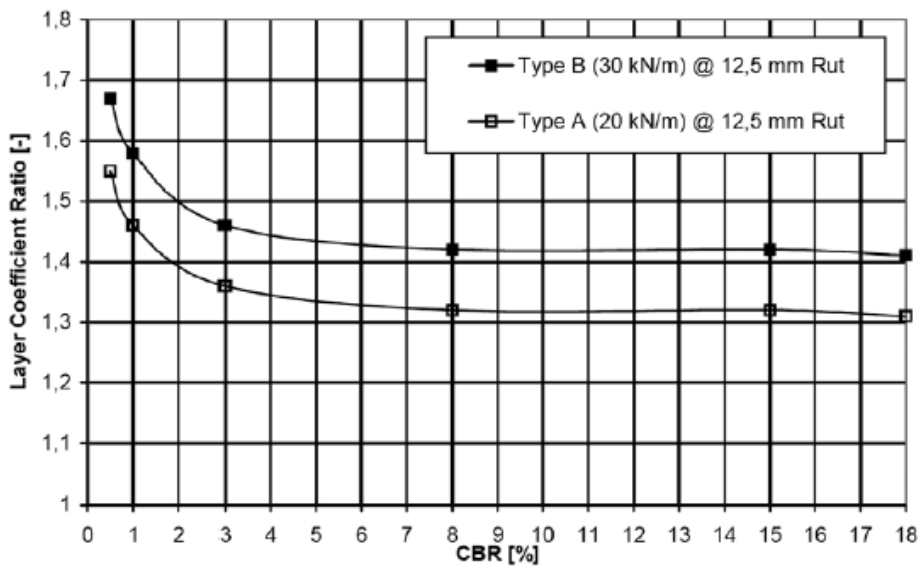


Figura 3.24 coeficiente de aporte de la geomalla a la capa granular de la estructura

$$LCR = 1.50$$

Para incluir el aporte de la geomalla dentro de la estructura de pavimento y obtener una disminución de espesor, se debe mantener constante a través de los cálculos realizados el valor inicial del número estructural.

$$SN_r = SN$$

$$SN_r = 5.84$$

A continuación se realiza el cálculo del nuevo espesor de la capa granular con el refuerzo incluido como parte integral de la estructura según la ecuación del Número Estructural pero utilizando el coeficiente LCR.

$$SN_r = a_1 D_1 + a_3 \cdot LCR \cdot D_{3r} \cdot m_3$$

$$D_{3r} = (SN_r - a_1 D_1) / (a_3 \cdot LCR \cdot m_3)$$

$$D_{3r} = (5.84 - 0.42 \times 5) / (0.10 \times 1.50 \times 0.80)$$

$$D_{3r} = 31.16 \text{ pulg.}$$

Una vez hallado el nuevo espesor de la capa granular, por la utilización de la geomalla, se calcula el número estructural de la misma.

$$a_3 \times D_{3r} \times m_3 = 0.10 \times 31.16 \times 0.80 = 2.49$$

Como la estructura seguirá manteniendo la misma conformación de materiales de base y sub-base, se deben calcular los nuevos espesores de dichas capas en función del número estructural de la capa de sub-base obtenido en el paso anterior y con sus coeficientes de capa respectivos.

$$SN_{gr} = a_2 \times D_{2r} \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$2.49 = 0.42 \times D_{2r} \times 0.80 + 0.10 \times D_{3r} \times 0.80$$

Debido a que se tienen dos incógnitas y una sola ecuación, se debe realizar un proceso de iteración para obtener unos espesores de capa razonables para la estructura. Para el espesor de la base granular no se recomienda que este valor se encuentre por debajo de los 15 cm o 6 pulgadas. Para la solución del problema, se deja constante el espesor de la base granular, que para este caso se emplea el espesor mínimo recomendado de 15 cm y se despeja de la ecuación el espesor de la sub-base granular.

Para nuestro caso, escogeremos un espesor de Base asumido  $D_{2r} = 20$  cm (7.87 pulg.  $\approx$  8 pulg.)

$$SN_{gr} = a_2 \times D_{2r} \times m_2 + a_3 \times D_{3r} \times m_3$$

$$SN_{gr} = 2.49 = 0.18 \times 8 \times 0.80 + 0.10 \times D_{3r} \times 0.80$$

$$D_{3r} = 16.72 \text{ pulg.} = 42.48 \text{ cm}$$

A continuación se verifica el aporte estructural con los nuevos espesores de capa de material granular e inclusión de geomalla.

Para que la estructura sea constructivamente viable, los espesores calculados por lo general son modificados para facilitar su proceso constructivo. Es por eso que se debe verificar que la variación de estos no altere el desempeño de la estructura, por lo que el número estructural de las capas granulares con respecto al número del aporte estructural de la capa reforzada, debe ser en lo posible iguales.

$$0.18 \times 7.87 \times 0.80 + 0.10 \times 16.72 \times 0.80 = 2.47 \text{ OK!!!}$$

Análisis de la disminución de espesor debido a la inclusión de la Geomalla biaxial.

Capa	Espesor de Pavimento Tradicional (cm.)	Espesor de Pavimento con Geomalla (cm.)	Disminución de espesor (%)
Carpeta asfáltica	12.7	12.7	0
Capa de base	27.94	20	28.41
Capa de subbase	68.58	42.48	38.05

*Análisis de disminución de espesores de capas de pavimento*

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE AMBOS DISEÑOS

#### 4.1 COSTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE SIN GEOMALLA

CAPA	ÁREA DE SECCIÓN (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	VOLUMEN DE MATERIAL (m <sup>3</sup> )	COSTO DE MATERIAL (\$/m <sup>3</sup> )	COSTO DE TOTAL POR CAPA (\$)
CARPETA ASFÁLTICA	0.8469	600	508.14	151	76,729.14
CAPA DE BASE	2.9792	600	1787.52	16.5	29,494.08
CAPA DE SUBBASE	7.6929	600	4615.74	12.5	57,696.75
<b>TOTAL</b>					\$ 163,919.97

*Tabla de Costo de pavimento sin la utilización de la Geomalla*

Los precios de las capas del pavimento incluyen los costos directos (MATERIAL, MANO DE OBRA Y EQUIPO), sin tomar en cuenta los costos indirectos.

## 4.2 COSTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZANDO GEOMALLA

CAPA	ÁREA DE SECCIÓN (m <sup>2</sup> )	LONGITUD (m)	VOLUMEN DE MATERIAL (m <sup>3</sup> )	COSTO DE MATERIAL (\$/m <sup>3</sup> )	COSTO DE TOTAL POR CAPA (\$)
CARPETA ASFÁLTICA	0.8169	600	490.14	151	74,011.14
CAPA DE BASE	2.1592	600	1295.52	16.5	21,376.08
CAPA DE SUBBASE	4.8654	600	2919.24	12.5	36,490.50
					131,877.72

GEOSINTÉTICO	TIPO	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	AREA DE GEOMALLA	COSTO DE GEOMALLA (\$)	COSTO(\$)
GEOMALLA	BX-1100	600	12.3	7380	1.95	14.391

**COSTO TOTAL: \$ 146.268,72**

*Tabla de Costo de de pavimento con la utilización de la Geomalla*

Los precios de las capas del pavimento incluyen los costos directos (MATERIAL, MANO DE OBRA Y EQUIPO), sin tomar en cuenta los costos indirectos.

Costo de pavimento sin Geomalla: \$ 163,919.97

Costo de pavimento con Geomalla: \$ 146.268,72

**Ahorro por costos directos: \$ 17.651,25**

## 5. ANÁLISIS

Debería conocerse que el problema del diseño de los pavimentos flexibles no está hoy teóricamente resuelto de manera satisfactoria. Sin ignorar algunos meritorios esfuerzos del pasado y algunos esperanzadores trabajos que se encuentran en plena realización en el presente, parece que la afirmación anterior es justa. En las tecnologías de la ingeniería civil, la falta de desarrollos teóricos confiables ha de suplirse en dos ámbitos distintos: la experimentación en el laboratorio y la instrumentación de prototipos para obtener directamente normas de comportamiento. Ambos procedimientos de adquisición de información válidas son ampliamente utilizados en la actualidad, tanto en Ecuador como en el resto del mundo.

Ambos han rendido frutos satisfactorios, pero están sujetos a la compleja problemática del comportamiento de los pavimentos, dependiente de un número de factores particulares de cada caso, todos muy influyentes, de carácter climático, de naturaleza de materiales, de topografía, de geología, de carácter del tránsito, etc., y están sujetos también al hecho básico de la carencia de un esquema teórico que permita considerar ordenadamente todos esos factores.

La información experimental obtenida hasta la fecha se ha utilizado fundamentalmente de tres formas.

Se obtienen parámetros de comportamiento de los materiales, que introducidos en alguna relación previamente obtenida, que a su vez contenga alguna ecuación, permitan efectuar cálculos útiles para resolución de una pregunta específica.

Una segunda utilización se triba en ir obteniendo un sentimiento experimental variado en relación a los fenómenos estudiados, con la finalidad de ir obteniendo conclusiones de carácter cada vez más general.

Existe además una tercera manera de utilizar la información

generada en el laboratorio, que es particularmente frecuente en la actual tecnología de pavimentos. Se trata de correlacionar la respuesta experimental de un material manipulado de una cierta manera con una tecnología del laboratorio, con el comportamiento observado de estructuras construidas en las obras reales, de manera que un cierto valor específico obtenido al aplicar la tecnología del laboratorio se pretenda relacionar con un cierto nivel de comportamiento de una obra o parte de ella en el campo de la realidad, tratando incluso de establecer correspondencia entre la escala de esos valores en el laboratorio y en la obra.

Un ejemplo de este proceder se tiene, en el caso de la prueba de Valor Relativo de Soporte, en la que una maniobra especial de penetración ejecutada en el laboratorio por un pistón presionado contra una muestra de suelo, se correlaciona con el futuro comportamiento de una capa de ese mismo suelo dispuesta en una carretera.

En otros casos la correlación entre la manipulación del laboratorio y el comportamiento del material se refiere a otros aspectos; por ejemplo en las pruebas del índice de plasticidad (límite líquido, límite plástico) se correlaciona la correspondiente manipulación de laboratorio con propiedades de comportamiento más generales, como la compresibilidad u otras.

El éxito de este tipo de correlaciones ha sido muy variable y a veces no se ve reflejado por la utilización que los ingenieros hacen de ellas; por ejemplo, es bien sabido que en el caso de los suelos finos o relativamente finos, transportadas las correlaciones generales de comportamiento que se obtienen de las mediciones de índices de plasticidad son sumamente concordantes con la realidad observada en las obras, en lo general, pero se sabe también que la muy utilizada prueba de valor relativo de soporte tiene correlaciones con el comportamiento real de los materiales muchísimo menos seguras y más influenciadas por factores circunstanciales de cada caso particular.



## 6. CONCLUSIONES

- El uso de geosintéticos en el ámbito internacional se desarrolló desde la década de los 70s, en Ecuador sólo diez años más tarde. Sin embargo, este hecho no ha impedido la entrada al país de la mayoría de materiales geosintéticos usados en infraestructura vial alrededor del mundo. Los geotextiles, geomallas y geocompuestos como los geodrenes, se usan en Ecuador de la misma manera que se usan en el resto del mundo, salvo por algunas aplicaciones de los geotextiles y geomallas en repavimentación que no son muy practicadas en el país. Los geobloques, sin embargo, no han logrado su inclusión masiva en el mercado colombiano por dificultades principalmente de naturaleza económica.

- La rehabilitación de una estructura de pavimentación por medio de geotextiles saturados con emulsiones asfálticas es una práctica poco desarrollada en Ecuador, contrario a lo que ocurre en el resto del mundo pues esta práctica se considera importantísima para evitar la aparición de grietas por reflexión producta de la mala distribución de los esfuerzos sobre la capa de rodadura reemplazada.

- La tecnología no es un impedimento significativo para el uso de geosintéticos en Ecuador. La empresa nacional se ha encargado de producir los materiales masivamente solicitados por el mercado (por su calidad) y se prueba que tienen la capacidad tecnológica para responder al reto de los geosintéticos en el diseño de pavimentos. Adicionalmente, las características de los geosintéticos para pavimentos tienden a minimizar el uso de maquinaria especial y maquinaria convencional, como es el caso de los geodrenes, dándoles una ventaja comparativa frente al uso de materiales convencionales.

- La búsqueda de información referente al uso de los geosintéticos en Ecuador corrobora la poca competencia de los métodos de diseño de pavimentos en el país. El uso de métodos estadísticos está fuertemente instituido para toda clase de diseños viales, desde corredores urbanos hasta carreteras interdepartamentales. Estos

métodos nos sólo nos acorde con los avances en investigación respecto a temas sino que no permiten la inclusión en el diseño de algún material geosintético, hecho que, por consiguiente, permite suponer un diseño con geosintéticos puramente artesanal, contrario al estado del arte mundial.

- Se debe tener en cuenta la importancia de reevaluar algunos parámetros de comparación de los diseños colombianos y mundiales. Usualmente, para referirse a los requerimientos de capacidad portante en el país, las guías de diseño utilizan el parámetro CBR como un evaluador confiable; el avance de las metodologías racionales y la popularización del uso de algunos ensayos más calificados hacen que las clasificaciones basadas en parámetros como el anteriormente mencionado pierdan vigencia y se consideren de baja calidad descriptiva frente a parámetros como el módulo resiliente.

- En el ámbito mundial el mercado de los geosintéticos se encuentra gobernado por los comercializadores que hacen versus productos como los únicos capaces de proporcionar soluciones a las necesidades del diseñador. Sin embargo, paralelamente hay instituciones dedicadas a la reglamentación y observación de las características de los materiales, lo que hace que haya un control más estricto a las estrategias del gremio comercial. En Ecuador el comportamiento de los comercializadores es igual, con el agravante de que existe un mercado poco conocido de las características técnicas para el diseño y una falta de instituciones reguladoras.

- La producción ecuatoriana de geosintéticos tiene un espacio apartado en el mercado mundial por su competitividad en precio. Para que dichos productos puedan ser comercializados y completamente competitivos se deben asumir estándares de reglamentación internacionales, como lo han conseguido en la actualidad algunas empresas productoras de geomateriales alrededor del mundo.

• La diferencia significativa en el uso de los materiales geosintéticos en el mundo con respecto a Ecuador es más de tipo académico que funcional. El uso de los geosintéticos internacionalmente está acompañado de investigación previa y posterior al hecho mismo de su aplicación, a través de evaluaciones in situ que permitan verificar el buen funcionamiento de los proyectos. La cultura del aprendizaje, mediante la investigación de las condiciones de los proyectos realizados, no es una práctica muy común en el país; y si se tiene en cuenta la poca inversión en investigación y desarrollo, tanto del gobierno como de la empresa privada, el panorama futuro no es muy alentador. Algunas de las empresas productoras realizan inversiones en investigación (e.g. PIVALTECS.A., que cuenta con un laboratorio especializado en la materia). Prácticas como esta deben incentivarse para masificar el uso responsable de los geosintéticos.

• El método de diseño con geosintéticos debe garantizar la optimización de todos los factores que se encuentran entorno a la materialización del proyecto. Se deben evaluar todas las alternativas posibles de manera que la elección de este diseño, de resultar viable, satisfaga todos los criterios de evaluación.

• Es necesario hacer claridad sobre la imposibilidad de crear un modelo único para el diseño con geosintéticos. Esto se debe a la gran cantidad de factores que involucra este procedimiento y los específicos que pueden llegar a ser paracada proyecto. Así pues, no existe un algoritmo o un programa que pueda decidir de forma general cómo el geosintético va a mejorar alguna condición dentro de un proyecto de pavimentación.

• El uso responsable de estos materiales en el país debe realizarse a través de la participación conjunta del Estado, las empresas productoras y las empresas constructoras.

## 7.RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar geomallas y geotextiles sobre las sub-bases para así poder evitar una contaminación entre los materiales de la base con los del terraplén ya que por la granulometría utilizada en la base se puede lograr que dicho material encaje perfectamente en la geomalla y el geotextil, haciendo de separador entre la base y el terraplén.
- Se recomienda usar sub-base tipo 2 dado a que su granulometría es la que mejor entra en los orificios de la geomalla bidireccional.
- El reforzamiento de pavimentos flexibles con el uso de geosintéticos registra detalladamente la cuantificación del desempeño de estos. Sin embargo, estas están sujetas a condiciones y variables como el tipo de geosintético, tipo de estructura de pavimento, espesores de sus capas, características de material asfáltico, material de agregado, tipo de suelo de la sub-base, nivel freático y condiciones ambientales. Definir entonces como es este comportamiento y el desempeño de los geosintéticos en la función de refuerzo y separación, necesitaría de un detallado plan de mediciones de todas estas variables. Este trabajo ha presentado un plan que no alcanza a llenar todas las expectativas, sin embargo, define el plan de mediciones instrumentales necesarias para contribuir con este entendimiento que servirá para adoptar nuevas metodologías de mantenimiento más económicas y efectivas para las vías de nuestro país.

- Preferible trabajar con geomallas dado que esto da un mejor refuerzo a estructuras térreas y de suelos de baja calidad.
  
- **Mente abierta al diseño.** Al diseñar con geotextiles se deben tener en cuenta múltiples factores, tales como los ambientales, los ahorros monetarios, los gastos en tiempo y las inversiones en investigación. Además, se debe tener claridad sobre la imposibilidad de lograr un único modelo de diseño con geosintéticos, pese a que son materiales con características estandarizadas. Las mejoras producidas en cada proyecto dependen de sus condiciones particulares, razón por la cual se debe conocer el entorno en el que se va a diseñar por medio de una investigación cautelosa en la región de interés.
  
- **Evitar el manejo comercial.** Es importante evitar que el manejo comercial afecte el conocimiento real que debe tener el ingeniero sobre las propiedades inherentes a los geosintéticos. La tendencia actual es considerar a los geosintéticos como productos, más que como materiales especiales que requieren un empleo cuidadoso. En esta medida, se deben reasaltar los esfuerzos que vienen realizando instituciones académicas y comerciales en la difusión del tema.
  
- **Establecer academia.** La mejor forma de garantizar diseños eficientes con el uso de los geosintéticos, es garantizar que quienes los hacen tienen un criterio formado por el estudio de las propiedades de los materiales y por la experiencia recolectada, más que por la utilización de la "fórmula" o el testimonio de algún cercano que obtuvo buenos resultados. Se debe hacer énfasis en la necesidad de crear conocimiento, pues como rezan las teorías de crecimiento económico, en la

medida en que se tiene más conocimiento es más receptivo a la asimilación del nuevo conocimiento; igualmente, en la medida en que un país invierte en tecnología, tiene una predisposición a ser receptor de tecnología.

- Desarrollar investigación. De la mano con la academia, se debe realizar una evaluación permanente de las obras reforzadas con geosintéticos con el objetivo de aprender a identificar su comportamiento, sus ventajas y sus desventajas dentro del ambiente ecuatoriano.
- Asumir una responsabilidad social. Las obras de infraestructura vial son necesarias para alcanzar una malla vial de cobertura y calidad adecuadas, que propicien el desarrollo económico en el país. En ese sentido, los productores y compradores de geosintéticos deben asumir la responsabilidad que le exige la profesión de la ingeniería civil y deben ser conscientes de los efectos sociales y económicos que implican el uso inapropiado de estos materiales.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alonso, E. E. (1998). Succión y humedad en bases y explanadas de carreteras. Simposio internacional sobre drenaje interno de firmas y explanadas. Granada, España.

Amoco. (1996). Ayudándole a diseñar con confianza. Georgia, U.S.A.

Basf Química de Colombia. (1997). Introducción a la técnica de rellenos aligerados con bloques de poliestireno expandido (EPS). XI Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Bogotá, Colombia

Cañete, A. (2000). Estudio de la sensibilidad de firmas y explanadas de carreteras bajo cambios climáticos. Tesis de especialización. Escuela Técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, España.

Caro, S.; García, C. (2000). Efecto del clima en pavimentos. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, Colombia.

DaSilva L.F. et al (1994). Modeling of Geotextiles and Other Membranes in the Prevention of Reflection Cracking in Asphaltic Resurfacing. Valparaíso, Chile.

Departamentos de Armada y Fuerza Aérea de Estados Unidos. (1995). Engineering use of geotextiles. Washington, USA.

FAO. (2001). The Potential Market for Sisal and Henequen Geotextiles. Washington. USA.

Frydenlund, E. (1996). Expanded Polystyrene – The Light solution. Norwegian Road Research Laboratory. Tokyo, Japan.

Henry, P. (2002). Cellular Geosynthetics - Geofoam.

Horvath, J. (1995). Geofoam Geosynthetic. Manhattan College, New York, USA.

Koerner, R. (1994 y 1997). Designing with Geosynthetics. Tercera y Cuarta Edición. Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.

La Fayette. (2002). Registro de experiencias con la utilización de geosintéticos Fortex y Fortgrid. Bogotá, Colombia.

Loradi, N. (1998). Influencia del etileno sobre el comportamiento de materiales compactados. Simposio internacional sobre drenaje interno de firmas y explanadas. Granada, España.

Malagón, A. (1998). Uso de geotextiles de alto módulo para el refuerzo de terraplenes de fundación en la Segunda Pista del Aeropuerto Internacional El Dorado. Conferencia internacional de Geosintéticos, Atlanta, USA.

PAVCO (1992). Geobloques, fabricados con Styropor Basf. Bogotá, Colombia.

PAVCO (1998). Geo-noticias, Ensayos y Especificaciones Técnicas. No. 1. Bogotá, Colombia.

PAVCO (1998, 1999, 2000). Geo-noticias, Conceptos Básicos. No. 1, 3, 5. Bogotá, Colombia.



PAVCO(1998,2000,2001).Geo-obras,SolucionesdeIngeniería.  
No.3,4,9,10,11,12.Bogotá,Colombia.

PAVCO (2002).Geosistemas, Manual de diseño. Quinta Edición.  
Bogotá, Colombia.

PAVCO (2002). Geosistemas, Soluciones en Ingeniería.  
Tercera  
Edición.Bogotá,Colombi  
a.

PAVCO(2002).EspecificacionesTécnicas:GeotextilesTejidosyNo  
tejidos ygeodrenplanar con y sin tubería.Bogotá, Colombia.

Polioles(1991).ElStyroporysuimpactoenelmedioambiente. México  
D.F.,México.

Robertson,R;Birgisson, B.(1998). Evaluation ofwaterflow through  
pavementsystems.Simposiointernacionalsobredrenajeinternode  
firmas yexplanadas.Granada,España.

TENSAR(1996).BaseReinforcement,InstalationGuide.Georgia,  
USA.

TENSAR(2002).Spectra,Sistemas dePavimentación.Georgia,USA.









