

**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**



**VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE GEOSINTÉTICOS PARA EL  
REFUERZO DE PAVIMENTO EN LA CARRERA 7 ESTACIÓN  
TRANSMILENIO MUSEO NACIONAL**

**CARLOS ARTURO BELTRÁN B.**

**TRABAJO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**ASESOR:  
NEIMAR ARLEY CASTAÑO PELÁEZ  
INGENIERO CIVIL, MSC GEOTECNIA U.N.**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA, PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL,  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.  
2013**

NOTA ACEPTACIÓN:

---

---

---

---

---

FIRMA PRESIDENTE JURADO:

---

FIRMA JURADO

---

BOGOTÁ D.C., 10 DE OCTUBRE DE 2013

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD**

**BG. ® EDUARDO ANTONIO HERRERA BERBEL**  
Rector

**BG. ® ALBERTO BRAVO SILVA**  
Vicerrector General

**BG. ® HUGO RODRIGUEZ DURAN**  
Vicerrector Administrativo

**DRA. MARTA LUCÍA BAHAMÓN JARA**  
Vicerrectora Académica

**DR. ERNESTO VILLAREAL SILVA**  
Decano Facultad de Ingeniería

**ING. MAURICIO PLAZA TORRES**  
Director Postgrados Facultad de Ingeniería

**ING. LUZ YOLANDA MORALES**  
Directora Programa de Ingeniería Civil

**ING. DIEGO CORREAL MEDINA M Sc.**  
Coordinador Especialización en Ingeniería de Pavimentos

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente Trabajo de Grado es el requisito establecido por la Universidad Militar Nueva Granada, para la obtención del título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos; su desarrollo es el fruto del trabajo dedicado para lograr la entrega de un producto final con el cual se pueda contribuir a consultores, asesores, constructores, interventores, entidades públicas, instituciones educativas, y en general, a cualquier persona interesada en la implementación de metodologías innovadoras para las obras de construcción y/o rehabilitación de pavimentos, metodologías que previenen el deterioro prematuro de los pavimentos. Por lo tanto, el presente documento está dedicado a los profesionales en las diferentes áreas y disciplinas de la Ingeniería y Construcción, que buscan aportar con sus buenas prácticas el diseño y construcción de obras con calidad.

## CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
1 OBJETIVO GENERAL.....	10
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
2 JUSTIFICACIÓN .....	11
3 MARCO TEÓRICO .....	12
3.1 ANTECEDENTES .....	12
3.2 AVANCES TECNOLÓGICOS .....	14
3.3 APLICACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	14
3.3.1 GEOMALLAS CO-EXTRUIDAS.....	14
3.3.2 GEOMALLAS EN FIBRA DE VIDRIO.....	16
3.4 NORMATIVIDAD APLICABLE .....	17
3.5 ESTADÍSTICAS .....	19
4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	21
5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DISEÑO PAVIMENTOS ESTACIÓN MUSEO NACIONAL – CARRILES TRÁFICO MIXTO .....	22
6 INCONVENIENTES PRESENTADOS.....	24
7 ANÁLISIS DE COSTOS .....	33
8 VENTAJAS POR UTILIZACIÓN GEOSINTÉTICOS.....	35
9 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS .....	36
10 REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	40
11 CONCLUSIONES .....	44
12 BIBLIOGRAFÍA.....	46

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Geomalla Uniaxial capas granulares (PAVCO) .....	15
Figura 2. Geomalla Biaxial capas granulares (PAVCO).....	15
Figura 3. Geomalla Biaxial Fibra Vidrio capas asfálticas (PAVCO) .....	17
Figura 4. Evaluación costos granulares Vs. Geotextiles .....	20
Figura 5. Alternativa – estructura tipo flexible .....	27
Figura 6. Límites estructuras estación Museo Nacional Vs. Modulación losas pavimento .....	28
Figura 7. Afectación losa de pavimento por asentamientos .....	30
Figura 8. Estructura de pavimento flexible tramo afectado .....	37
Figura 9. Diseño losas para transición pavimento rígido flexible.....	42

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad geomallas capas granulares.....	18
Tabla 2. Normatividad geomallas capas asfálticas.....	18
Tabla 3. Espesores de pavimento flexible .....	24
Tabla 4. Espesores de pavimento para construcción.....	25
Tabla 5. Espesores de pavimento flexible .....	32
Tabla 6. Evaluación costos pavimento flexible .....	33
Tabla 7. Evaluación costos pavimento rígido .....	34

## ANEXOS

ANEXO 1: NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PAVCO

ANEXO 2: AUSCULTACIÓN VISUAL CARRERA 10

ANEXO 3: DEFLECTOMETRÍA CARRERA 10

ANEXO 4: TABLAS CÁLCULO TRÁNSITO - DISEÑO PAVIMENTOS  
CARRERA 10

ANEXO 5: CÁLCULO DISEÑO PAVIMENTOS CARRERA 10

ANEXO 6: MÓDULO BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

ANEXO 7: PARÁMETROS DISEÑO CALZADAS MIXTAS CARRERA 10

ANEXO 8: ESPESORES PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE CARRERA 10

ANEXO 9: VARIACIÓN DEFORMACIÓN VERTICAL CON LA DISTANCIA A LA  
EXCAVACIÓN CARRERA 10 Y DEFORMADA ELÁSTICA PARA  
PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN

## GLOSARIO

*Extrusión:* Proceso utilizado para la elaboración de objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de la sección transversal que se desee.

*Talus:* Fragmentos de roca acumulados en cantiles

*Cantiles:* Sitios que asemejan forma de escalones

*Geoceldas:* Sistema tridimensional de confinamiento celular que permite, mediante la creación de un suelo artificial, conseguir una buena compactación del terreno, un buen drenaje y el establecimiento de la vegetación.

*Geomallas:* Geosintéticos para refuerzo de estructuras de pavimentos y obras civiles, mediante una estructura plana abierta; se fabrican con polímeros de alta resistencia y durabilidad.

*Geomalla Biaxial:* Estructuras bidimensionales fabricadas de polipropileno, químicamente inertes y con características uniformes y homogéneas, producidas mediante un proceso de extrusión y luego estiradas longitudinal y transversalmente.

*Bárrete:* Muro de cimentación para resistir las cargas horizontales del suelo y las cargas verticales para las cuales fue diseñado, a diferencia de una pantalla convencional de contención.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo presenta una de las particularidades de obras de pavimentos ejecutadas como parte de la adecuación de la Carrera 10 y Calle 26 al sistema Transmilenio, específicamente en el Tramo en el cual localiza actualmente la estación del Sistema Transmilenio denominada Estación Museo Nacional en las Carreras 10 y 7 entre las Calles 26 y 34.

El instituto de Desarrollo Urbano – IDU – adjudicó a la Constructora Bogotá Fase 3 la ejecución de las obras de adecuación de la Carrera 10 o Avenida Fernando Mazuera entre las Calles 7 y 34 y de la Calle 26 o Avenida Jorge Eliecer Gaitán entre las Carreras 19 y Calle 19 con Carrera 3, obras correspondientes al Grupo 3 bajo el contrato 136 de 2007 del proyecto general y de la misma forma adjudicó al Consorcio IML la Interventoría de dicho proyecto bajo el Contrato IDU-172 de 2007.

En el presente documento, se dan a conocer brevemente las actividades de revisión, ajustes y de forma general, la complementación de los Estudios y Diseños de geotecnia y pavimentos ante la problemática presentada en la Estación Museo Nacional de Transmilenio debido a su proceso constructivo y el área de afectación para el espacio público y los pavimentos de la zona en la cual se construyó.

La presente monografía contiene los detalles más relevantes de la problemática presentada en términos de geotecnia y pavimentos y algunos detalles representativos de la información elaborada en la Fase de Consultoría y en la fase de construcción del proyecto; Igualmente, contiene la descripción de la solución constructiva implementada para garantizar el buen desarrollo de los pavimentos cuyo producto final a la fecha está siendo objeto de uso por parte de los ciudadanos.

## **1 OBJETIVO GENERAL**

Exponer mediante un caso particular, las ventajas con el uso de Geosintéticos como medio de refuerzo para retardar la fisuración temprana y extender la vida útil del pavimento.

### **1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Enunciar los inconvenientes generados por la fisuración en el pavimento flexible por el cambio de rigideces en el soporte.
- Describir los Geosintéticos como producto y sus ventajas desde el punto de vista técnico.
- Describir algunas ventajas desde el punto de vista económico con el uso de Geosintéticos.
- Referir algunos casos particulares para demostrar las ventajas con el uso de Geosintéticos para el refuerzo de pavimentos.

## 2 JUSTIFICACIÓN

Desde el punto de vista de construcción, rehabilitación y mantenimiento de vías urbanas, el uso de los Geosintéticos propone una metodología para prevenir la aparición de fisuras y grietas de abajo hacia arriba de forma temprana o extendiendo el tiempo en que la fisuración puede presentarse en pavimentos nuevos por los diferentes cambios de rigidez que pueda tener su base o tipo de soporte. Lo anterior tiene como resultado el incremento de la vida útil o nivel de servicio del pavimento, y por ende, la disminución en costos de mantenimiento.

Por otro lado, con el uso de los materiales geosintéticos, se reduce el impacto urbano ya que los períodos de intervención de las vías son más cortos y con menor frecuencia.

Técnicamente, los geosintéticos han demostrado que con su uso, se extiende la duración de las capas de rodadura cuya estructura de pavimento posee cambios en la rigidez de soporte. Al incrementarse el tiempo de durabilidad de la capa en buenas condiciones, se logra la reducción de costos a mediano plazo. Los geosintéticos son de fácil transporte y colocación, pero se debe garantizar que los mismos sean instalados por personal capacitado y bajo una supervisión adecuada.

## 3 MARCO TEÓRICO

### 3.1 ANTECEDENTES

Con el fin de identificar las ventajas que se presentan en la actualidad por el uso de los geosintéticos, es necesario que repasemos la naturaleza de dichos productos, así como su funcionalidad dentro de los pavimentos, específicamente, en el cumplimiento de la función de refuerzo. Los principales geosintéticos que se usan en la actualidad en los proyectos viales, específicamente en la estructura de pavimentos son los geotextiles, geodrenes y geomallas siendo estas últimas, las del interés de la presente monografía.

Actualmente, muchos textos ofrecen una gran cantidad de apoyo referente al tema del uso de los geosintéticos, tanto en el diseño como en la construcción desde el punto de vista de geotecnia y pavimentos, textos como *designing With geosynthetics* – Koerner 1997; especificaciones y diseños de PAVCO 2002; Especificaciones Geomatrix Lafayette; FAO 2001, entre muchos otros. La literatura coincide en que los materiales geosintéticos han logrado una gran acogida en el diseño y construcción de obras civiles en muchas partes del mundo, ya que es notable su eficiencia en la solución de innumerables problemas en suelos de los que se pueden mencionar, inconvenientes por baja capacidad portante, subdrenajes, contaminación de materiales granulares de la estructura de pavimentos con suelos finos de baja calidad de la subrasante, fisuración por reflexión de fisuras en capas superiores, etc.

La historia muestra que desde la antigüedad, se iniciaron las aplicaciones para aumentar la capacidad soporte de los suelos blandos y uno de los tantos métodos ideados para lograr tal objetivo fue la incorporación de algún tipo de elemento dentro del suelo para mejorar sus propiedades mecánicas. Fue así como los babilonios utilizaron las ramas de palmera entrelazadas con el fin de retener el material durante la construcción de sus obras verticales y de forma similar, en la Muralla China, se usaron ramas de plantas, entre ellas palmeras, para reforzar la arcilla y la arena en algunas partes o secciones. Lo anterior permitió evidenciar con hechos que por medio del confinamiento lateral de los materiales se lograba suministrar resistencia de los mismos a la tracción. En otros casos, las culturas antiguas colocaban troncos de madera en forma perpendicular, lo cual es considerado como el principio de los geosintéticos conocidos en la actualidad como geoceldas y geomallas, siendo su función principal la de brindar el confinamiento lateral y la resistencia a tracción en suelos.

Para el caso de obras que fueron ejecutadas para el uso de los ejércitos, fue la Armada Británica hacia el año 1800, quien implementó pruebas para demostrar de forma empírica, la disminución de la presión lateral en muros de contención al reforzarse con capas horizontales de madera o lona.

En algunas partes del mundo se utilizó otro tipo de métodos constructivos que involucraron la utilización de pieles de animales para separar los suelos blandos de los suelos superiores o de la estructura superior. Con el uso de arena o grava conformada por capas intermedias, se consiguió que las aguas drenaran evitando de esta forma su estancamiento a la vez que se disminuía la presión de poros o intersticial. En la actualidad, los proyectos en sus diseños, ya incluyen los geotextiles y/o geosintéticos con el fin de llevar a cabo el control del drenaje y la separación de materiales nuevos con materiales existentes.

Hacia el año 1926, se llevó a cabo el primer experimento usando fibras sintéticas para el refuerzo de una estructura de pavimentación. La entidad encargada de tal fin fue el Departamento de Vías de Carolina del Sur en Estados Unidos y el ensayo consistió en colocar encima de la base granular de un pavimento flexible una capa gruesa de algodón sobre la cual se esparció asfalto caliente y sobre éste a su vez se colocó una capa de arena de espesor pequeño. Los resultados del experimento se publicaron 1935 y éstos demostraron que se logró reducir la fisuración y el agrietamiento en la estructura, así como el mejoramiento de las condiciones de servicio antes de que la fibra tuviera su total deterioro.

En la Guerra del Golfo, el ejército de los Estados Unidos utilizó geoceldas para confinar la arena de los sitios de desplazamiento con el fin de lograr mayor rapidez en la movilización de sus tropas; así, se logró aumentar la capacidad de soporte que a su vez permitió al ejército poder crear nuevos caminos para el acceso de vehículos pesados con mayor facilidad y velocidad.

En el siglo XXI, el uso de la geomalla en repavimentación, ha tomado enorme fuerza en muchos países, por la reducción en los costos de mantenimiento de las vías en pavimento flexible, tras incrementarse la vida útil de los pavimentos, siendo ésta la principal función de las geomallas como método de extender la vida útil de las capas asfálticas sin que se presente fisuración temprana.

Cabe mencionar que uno de los avances en tecnología más importantes en la construcción, es el uso materiales geosintéticos, en muchos campos de la construcción. Estos materiales se han desarrollado tanto, que en la actualidad dichos materiales pueden ofrecer características de resistencia similares o inclusive más altas que las del acero, a su vez que no tienen la desventaja de la corrosión.

## **3.2 AVANCES TECNOLÓGICOS**

Los geosintéticos son productos que se obtienen de fibras poliméricas termoplásticas y que se usan en aplicaciones de geotecnia. Fueron ideados para ser usados como filtros, mantos, láminas o estructuras tridimensionales, y de esta forma estar en contacto directo con el suelo o materiales mejorados dentro de las diversas aplicaciones de la Ingeniería Civil y Geotecnia. La fabricación de estos productos se basa en procedimientos de extrusión, tecnología textil y la combinación de las dos.

En el campo de la Ingeniería civil, los geosintéticos más utilizados son los geotextiles, las geomallas uniaxiales y biaxiales, geomembranas, geoceldas y mantos para control de la erosión siendo estos últimos una combinación funcional de los demás productos.

Dichos materiales son utilizados en las obras de pavimentos, ferrovías, obras mineras, lagunas, estanques, taludes, zonas con problemas de erosión, muros de contención, puertos, drenes, etc. En cada una de las anteriores obras, los geosintéticos fueron diseñados y utilizados para cumplir las funciones de separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección y de acuerdo con su función, los geosintéticos tienen sus propiedades de tipo mecánico, hidráulico y de durabilidad. La idea de reforzar los suelos utilizando diversos materiales, ha tenido una constante evolución desde la creación o el origen de los caminos.

## **3.3 APLICACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Para el caso que comprende la presente monografía, únicamente se enunciarán los productos para el refuerzo de los pavimentos flexibles, bien sea para obras de construcción, rehabilitación o mantenimiento (refuerzo):

### **3.3.1 Geomallas Co-extruidas**

Uno de los métodos que desde la antigüedad hasta los tiempos actuales se sigue utilizando para aumentar la capacidad de carga de los suelos blandos, es el refuerzo de los mismos con confinamiento lateral de partículas del material que conforma el suelo, aumentando de esta forma la resistencia a la tensión. Como ya se mencionó, en la antigüedad este efecto se lograba con la utilización de ramas trenzadas o con troncos colocados en forma ortogonal. Con la tecnología actual, las geomallas bi-orientadas coextruidas permiten lograr el mismo efecto de confinamiento lateral de los materiales granulares. Dichas geomallas se fabrican a base de polímeros, formando una red bidimensional proveniente del proceso de extrusión, en cuyas aberturas se introducen los materiales granulares para generar el proceso de trabazón de agregados.

A continuación se presentan las imágenes de cada una de las geomallas mencionadas:

- Geomalla Co-extruida Mono-orientada



**Figura 1. Geomalla Uniaxial capas granulares (PAVCO)**

Este tipo de geomallas tiene como campos de aplicación los siguientes:

- ✓ Refuerzo muros, taludes, terraplenes y diques
  - ✓ Estabilización suelos blandos
  - ✓ Reparación por deslizamientos y cortes de taludes
  - ✓ Ampliación corona de taludes
  - ✓ Recubrimiento de estribos, muros y aletas de puentes
  - ✓ Muros vegetados o recubiertos con concreto
- Geomalla Co-extruida bi-orientada



**Figura 2. Geomalla Biaxial capas granulares (PAVCO)**

Esta geomalla presenta su función en los siguientes campos de aplicación:

- ✓ Terraplenes en caminos y ferrovías (refuerzo en balasto)
- ✓ Refuerzo en bases granulares de vías pavimentadas y no pavimentadas
- ✓ Refuerzo en estructura de aeropistas
- ✓ Refuerzo para contención en rocas fisuradas

Las geomallas co-extruidas tienen como función principal el refuerzo de los suelos, pero su función depende de la forma en que se transmitan los esfuerzos; es decir, en estructuras como suelos reforzados y terraplenes, se requiere mayor resistencia y rigidez en sentido longitudinal que en el transversal y por este motivo las geomallas para dichas aplicaciones son mono-orientadas. Para el caso de estructuras de pavimentos o cimentaciones en donde los esfuerzos se transmiten de forma aleatoria o en cualquier dirección dependiendo la aplicación de la carga, los productos utilizados son las geomallas bi-orientadas con homogeneidad de resistencia y rigidez en sus dos sentidos.

Es importante mencionar, que las geomallas co-extruidas contribuyen al incremento de la resistencia al corte de los suelos, cuando se someten a cargas, ya que el suelo interactúa directamente con la geomalla, generando un aporte similar al de la cohesión, incluyendo dicho efecto en suelos granulares, lo que se traduce en que la resistencia a la compresión del suelo es asumida por el mismo, pero adicional a sus cualidades de cohesión ante las cargas de tensión, la geomalla incrementa tal propiedad logrando en conjunto un suelo con mayores capacidades de resistir los esfuerzos.

### **3.3.2 Geomallas en Fibra de Vidrio**

Este tipo de geomallas son de tipo flexible y se diseñan para controlar los efectos de agrietamientos por reflexión, por fatiga o por deformaciones plásticas en un pavimento asfáltico. Este producto tiene como función principal el aumento de la resistencia a la tracción en una capa asfáltica y de distribuir de manera uniforme los esfuerzos horizontales en una mayor área, lo cual permite la durabilidad de los pavimentos sin que se evidencien grietas a corto plazo.

Este producto ofrece un alto módulo de elasticidad mayor incluso que el módulo de la mezcla asfáltica, lo cual ofrece una gran ventaja respecto a otros métodos pues es precisamente el material con mayor módulo el que asume los esfuerzos generados por las cargas. Igualmente, este material ofrece ventajas por estar constituido de fibra de vidrio cuyo punto de fusión está entre los 800 y 850 °C, lo que permite trabajar conjuntamente con la mezcla asfáltica.

A continuación se presenta la imagen de la geomalla biaxial en fibra de vidrio:





Figura 3. Geomalla Biaxial Fibra Vidrio capas asfálticas (PAVCO)

Este tipo de geomalla tiene los siguientes campos de aplicación:

- ✓ Control de fisuras por reflexión fisuras subyacentes
- ✓ Control de ahuellamientos
- ✓ Refuerzo continuo para vías con altos volúmenes de tráfico y pistas de aeropuertos
- ✓ Reparaciones puntuales en pavimentos
- ✓ Refuerzo de capas asfálticas sobre losas de concreto

Adicionalmente, este producto logra el incremento de la vida útil de un pavimento al aumentarse significativamente la resistencia a la fatiga de los materiales bituminosos, lo cual genera menores costos en mantenimiento.

### **3.4 NORMATIVIDAD APLICABLE**

Cada tecnología implementada, debe tener su respectiva norma de control, lo cual es indispensable para medir los parámetros de calidad de acuerdo con el producto y por ende con el tipo de obra a ejecutar. A continuación, se presentan las normas que rigen los geosintéticos objeto de la presente monografía.

En Colombia, la normatividad ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials) fue adoptada por el INVIAS y para el caso específico de los geosintéticos, las normas AASTHO M288-05, en donde se establecen los parámetros de control bajo las siguientes normas:

- Separación suelos subrasante y capas granulares con geotextil (Artículo 231)
- Estabilización suelos subrasante y capas granulares con geotextil (Artículo 232)
- Pavimentación y repavimentación con geotextiles (Artículo 464)

- Subdrenes con geotextil y material granular (Artículo 673)
- Productos plegados control de erosión (Artículo 811 )

Para el desarrollo y control de los productos, en este caso, las geomallas de tipo co-extruido en polipropileno y fibra de vidrio para refuerzo en capas granulares y capas asfálticas, respectivamente, es importante enunciar la normatividad aplicable de dichos productos, normatividad que no formaba parte de las especificaciones técnicas del contrato IDU-136 de 2007, pero para su control fue indispensable la revisión de los protocolos y certificados de calidad de los proveedores, así:

### GEOMALLA BIAxIAL CAPAS GRANULARES

<b>NORMA</b>	<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>
ASTM D6637	Resistencia a la tensión 2% deformación (SL/ST) (2) (*)
ASTM D6637	Resistencia a la tensión 5% deformación (SL/ST) (2) (*)
ASTM D6637	Resistencia a la tensión pico (SL/ST) (2) (*)
GRI-GG2	Eficiencia en los nodos (3) (*)
ASTM D6637	Rigidez flexural (4) (*)
US ARMY COE	Rigidez torsional (J) (5) (*)
<b>NORMA</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>
Medido	Tamaño de abertura (SL/ST) (2) (*)
CW 02215	Espesor de costillas (SL/ST) (2) (*)
ASTM D1777	Área abierta
ASTM D6637	Resistencia a los daños de instalación (6) (*)
ASTM D4355-05	Resistencia a la degradación a largo plazo (7) (*)

Tabla 1. Normatividad geomallas capas granulares

### GEOMALLA BIAxIAL REFUERZO CAPAS ASFÁLTICAS

<b>NORMA</b>	<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>
ASTM D6637	Resistencia a la tensión última (ST/SL) <sup>1</sup> (*)
CRDRG01	Propiedades de retracción
ASTM D6637	Elongación máxima a la rotura (ST/SL) <sup>1</sup> (*)
<b>NORMA</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>
Medido	Tamaño de abertura de la malla (ST/SL) <sup>1</sup> (*)
Mínimo	Resistencia a la temperatura
ASTM D276	Punto de fusión

Tabla 2. Normatividad geomallas capas asfálticas

(\*). Las notas respectivas pueden ser verificadas en el anexo No.1 en el cual se incluyen las normas aplicables para los productos en cuestión.

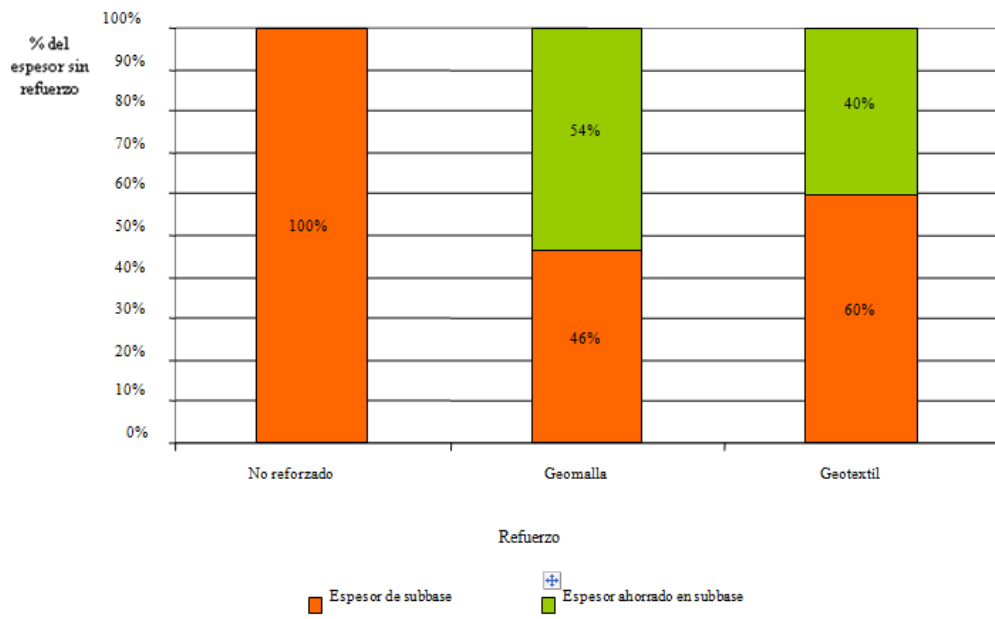
### 3.5 ESTADÍSTICAS

Hace más de 30 años, las geomallas para capas granulares y asfálticas vienen desempeñando un papel fundamental junto con los geotextiles, en el campo de la ingeniería de pavimentos, superando incluso a los métodos tradicionales de mejoramiento de las capacidades del suelo con la adición de otros productos directamente sobre el suelo. Está demostrada la eficiencia de dichos productos para el mejoramiento de materiales que conforman la subrasante y en el refuerzo de capas propiamente dichas de los materiales de la estructura de pavimentos.

El desarrollo y aplicación de la tecnología de las geomallas, ha sido notablemente implementada en los Estados Unidos, país en donde se han logrado importantes avances de igual forma que los geotextiles. El crecimiento en la aplicación de las geomallas, también se debe a factores de precio en comparación con los geotextiles, pero depende del tipo de obra lo que determina el producto a implementar. Constructivamente, las geomallas ofrecen grandes ventajas en términos de fácil instalación, rigidez, condiciones de almacenaje, entre otras.

En temas estadísticos, se puede traer el ejemplo obtenido del siguiente link [www.revistas.unal.edu.co/index.php/email/article/download/1181/2184](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/email/article/download/1181/2184), en el cual se establecen las ventajas del uso de geosintéticos y específicamente, “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”. Pese a que el objetivo principal de la presente monografía no es la evaluación económica del producto, es importante mostrar una de las tantas ventajas que ofrece el uso de los geosintéticos en la reducción de espesores de capas granulares en pavimentos.

La siguiente figura, tomada del anterior link en donde se encuentra el documento **“FACTORES QUE DETERMINAN EL USO DE GEOSINTÉTICOS EN PROYECTOS DE PAVIMENTACIÓN EN COLOMBIA”**, representa la ventaja económica al reducir los espesores de una capa de la estructura de pavimento, con la incorporación de materiales tipo geosintéticos, tanto geotextiles de refuerzo como geomallas.



**Figura 4. Evaluación costos granulares Vs. Geotextiles**

## 4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Dentro del proyecto de adecuación de los corredores de la Carrera 10 y Calle 26 al sistema de transporte masivo Transmilenio en los tramos que hacen parte de las localidades de Candelaria, Santa Fe, Teusaquillo y Mártires, correspondiente a la Fase 3 de Transmilenio, se ejecutaron de forma general las obras de construcción de pavimentos en concreto rígido y flexible, espacio público, estructuras de contención, túneles peatonales, puentes vehiculares y peatonales, entre otras obras cuya descripción no hace parte del presente documento; igualmente, se incluyó la construcción de cinco (5) estaciones del sistema Transmilenio, correspondientes a las estaciones sencillas de San Victorino ubicada en la Carrera 10 entre las Calles 11 y Avenida Jiménez, Las Nieves ubicada en la Carrera 10 entre las Calles 17 y 19, San Diego ubicada en la Carrera 10 entre las Calles 23 y 26 con conexión al túnel peatonal bajo la Plazoleta del Monumento de la Rebeca, Universidades ubicada en la Carrera 3 entre las Calles 19 y 22 y finalmente la estación subterránea Museo Nacional ubicada en la Carrera 10 y 7 entre las Calles 26 y 32, la cual corresponde a la obra con afectación directa en la construcción de los pavimentos por su carácter subterráneo.

La Estación Museo Nacional, como ya se mencionó se encuentra ubicada en la Carrera 10 y 7 entre las Calles 26 y 34, en un importante sector de la ciudad de Bogotá en donde confluyen importantes edificaciones como el Centro Internacional, el Hotel Tequendama, el Colegio María Auxiliadora por el costado occidental, y la Iglesia de San Diego, el Museo Nacional e importantes edificaciones financieras y de otras actividades económicas por el costado oriental.

La Zona de ubicación de dicha estación, es caracterizada por la presencia de suelos cohesivos depositados sobre talus y coluviones (bloques de roca y matrices arcillosas y limosas). El nivel freático en esta zona suele ser elevado por la escorrentía de las vías del costado oriental, teniendo en cuenta la diferencia de altura entre la Carrera 10 y 7 con las vías hacia el oriente.

En la etapa inicial o de consultoría, solo se realizaron tres (3) perforaciones entre 30 y 35m en la zona de excavación (no se alcanzo el basamento rocoso); de acuerdo con las condiciones iniciales, se previó un asentamiento por descenso nivel freático del orden de los 0.43cm. Esta información, por no ser representativa, tuvo que ser evaluada nuevamente y bajos las condiciones reales del proyecto.

## 5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DISEÑO PAVIMENTOS ESTACIÓN MUSEO NACIONAL – CARRILES TRÁFICO MIXTO

Para el caso de los pavimentos de la Carrera 10 donde se sitúa la Estación Museo Nacional del sistema de Transporte Transmilenio S.A., el diseño inicial contempló la siguiente información:

- Método de diseño: Shell 1978. Verificación con los métodos empírico mecánicos, AASTHO 1993 y elementos finitos. (Anexo 5)
- Periodo de diseño: 20 años
- Confiabilidad: 95%
- Leyes Fatiga: Concreto asfáltico  $\epsilon_T = 0.002262N^{0.1626}$ , Subrasante  $\epsilon_z = 0.0018N^{0.25}$ , Base Estabilizada  $\sigma_n / \sigma_0 = 0.871 - 0.054 \log N$ , siendo  $\sigma_0 = 275$  kPa
- Límite consumo por erosión (max): 150% usando mezcla asfáltica como soporte
- Factor Seguridad Carga: 1.20
- Factor seguridad repeticiones carga: 1.10
- Módulo rotura concreto: 4.5 MPa
- Variables de tráfico (no se requiere su presentación en la presente monografía).
- Factores de daño: C2P: 3.284  
C2G: 3.436  
C3: 4.612  
C4: 4.727
- TPD de diseño:
  - Calzada Oriental: C2P: 79  
C2G: 249  
C3: 19
  - Calzada occidental: C2P: 166  
C2G: 318  
C3: 31
- Factor de Crecimiento Tránsito 1.024%.

Así, se estableció el número de ejes equivalentes para un período de 20 años. (Anexo 4)

- Calzada Mixta Oriental:  $8.76 \times 10^6$  Ejes Equivalentes de 8,2 Ton
- Calzada Mixta Occidental:  $1.3 \times 10^7$  Ejes Equivalentes de 8,2 Ton

El estudio geotécnico y de pavimentos entregado por la entidad contratante contempló la siguiente información

- 31 apiques calzada oriental K4+200 a K7+200 y 31 apiques calzada occidental K0+000 a K3+100.
- Clasificación de materiales de la estructura de pavimento existente y suelos de subrasante.
- Módulo resiliente subrasante obtenido por retrocálculo con equipo FWD y a través de secciones homogéneas por todo el corredor. (Anexo 3)
- El módulo de reacción de la estructura existente – K combinado – fue obtenido con los espesores evidenciados en cada apique.
- El tránsito fue obtenido del estudio de factibilidad del proyecto en el cual se establecieron volúmenes para las calzadas mixtas en base a camiones tipo C2G, C2P y C3. Para las calzadas Transmilenio que no son objeto de la presente monografía, se establecieron datos conforme a la frecuencia que se pretendía dar al sistema. De los volúmenes obtenidos y configuración de cargas, se determinaron las repeticiones de carga para el periodo de diseño. En el anexo 4 se puede observar la información obtenida a partir de los cálculos realizados:
- Los espesores para el pavimento en concreto fueron calculados con la metodología PCA-84 y se utilizó el método de cálculo por elementos finitos (Programa KENSLABS); se usó un módulo de rotura para el concreto de  $45 \text{ Kg/cm}^2$  y una capa de mezcla asfáltica de 5cm bajo las losas para el consumo por erosión. (Ver Anexo 7 y 8)

## 6 INCONVENIENTES PRESENTADOS

En primer lugar, la implementación del pavimento flexible en la Carrera 10 fue descartada al encontrar deficiencias en el diseño por cuanto la verificación arrojó como conclusión que dicho pavimento fue diseñado para un periodo de 10 años, como en la actualidad se diseñan en Colombia los pavimentos flexibles; sin embargo, el Contrato establecía que el diseño debía considerarse para un periodo de 20 años. Por otro lado, en el diseño entregado proveniente de la etapa de Estudios y Diseños, se estableció el valor de 500 MPa como módulo para la base estabilizada con cemento sobre la cual se apoyaría la capa asfáltica, lo cual no correspondía con el valor real para este tipo de material, de acuerdo con la figura 2.8 *AASHTO Guide Desing of Pavement Structures / Variations in a for Cement – Treated Bases with Bases Strength Parameter* (ver anexo 6). Por lo anterior, se descartó la propuesta en pavimento flexible, la cual se describe a continuación:

ESTRUCTURA PAVIMENTO CALZADAS TRÁFICO MIXTA	CALZADA ORIENTAL	CALZADA OCCIDENTAL
	ESPESOR (cm)	
CAPA ASFÁLTICA	14,00	15,00
MATERIAL GRANULAR TRATADO CON CEMENTO (MTC)	16,00	19,00
MATERIAL GRANULAR REMANENTE MÍNIMO	38,00	26,00

**Tabla 3. Espesores de pavimento flexible**

En segundo lugar, con la información del numeral anterior y la revisión de la totalidad del diseño de pavimento rígido entregado por el Consultor del proyecto de la etapa de Estudios y Diseños, el constructor del proyecto manifestó los siguientes inconvenientes.

- No se contempló en el tránsito de diseño el factor de seguridad por repeticiones de carga – FSRC=1.10, establecido contractualmente.
- No se consideró que los buses en su totalidad no serían retirados, de acuerdo con lo visto en otras troncales.
- En cuanto al módulo de reacción combinado obtenido por el consultor, se evidenció que éste fue calculado a partir de deflectometría con espesores supuestos de los materiales existentes, de 15 cm. Se usaron las graficas *USACE* y *ACPA*, pero en dichas gráficas se consideran materiales tipo base y subbase granular y con respecto a los ensayos hechos al material recuperado de los apiques, los materiales encontrados no cumplían con dicha condición.



- Las capas granulares remanentes del pavimento que se pretendían considerar como apoyo para el pavimento rígido, no presentaban homogeneidad tanto en clasificación como en resistencia, a lo largo del corredor de acuerdo con la investigación de campo. De acuerdo con esto, es importante mencionar que uno de los aspectos relevantes en la Ingeniería de Pavimentos rígidos, es la homogeneidad (uniformidad) del soporte, ya que esta condición permite el control de los esfuerzos diferencias en las losas. Por esto, de construir un pavimento rígido con altos volúmenes de tránsito sobre la capa remanente encontrada a lo largo del corredor, se podrían ocasionar sobreesfuerzos que conducirían al pavimento a un estado de agrietamiento a temprana edad. (Anexo 2)

Ante la situación expuesta, el constructor manifestó que los diseños suministrados por la entidad contratante no otorgaban la suficiente confianza para su implementación, motivo por el cual para las calzadas mixtas de las Carreras 10 y 7, se propuso la implementación de pavimento rígido, con el cual se lograría cumplir para un período de diseño de 20 años.

Con el fin de reutilizar el material de la manera propuesta por el Consultor del proyecto en la etapa de Estudios y Diseños, el Constructor presentó la siguiente estructura de pavimentos a implementar:

Calzada	Abcisas		Estructuras de Pavimento		
	Inicial	Final	Losa concreto Hidráulico MR-45 (cm)	Capa concreto asfáltico MD-12 (cm)	MTC (cm)
Oriental	K3+820	K4+550	23,00	5,00	15,00
	K4+550	K5+170	23,00	5,00	15,00
	K5+170	K6+970	23,00	5,00	15,00
Occidental	K3+820	K4+550	23,00	5,00	15,00
	K4+550	K5+170	23,00	5,00	15,00
	K5+170	K6+970	23,00	5,00	15,00

**Tabla 4. Espesores de pavimento para construcción**

En la Carrera 10 entre las Calles 10 y 11, se iniciaron las obras ejecutando un tramo de prueba con el uso del material denominado MTC, el cual consistió en la reutilización del material existente al estabilizarlo con cemento, todo en función de una fórmula de trabajo, pero debido a los rendimientos bajos de obra por el proceso de fraguado de la mezcla para obtener la resistencia esperada, este diseño de pavimento fue descartado y se procedió a la implementación del diseño reemplazando únicamente el material y el espesor de la capa de granulares; es decir, se reemplazaron los 15cm de MTC por 20cm de Base Granular tipo BG-A, lo cual se implementó en el desarrollo de las obras de la Carrera 10 entre Calles 7 y 26.

En tercer lugar, se presentó otro inconveniente en el desarrollo de las obras de pavimentos por la ubicación de la estación Museo Nacional, considerando que parte de la estructura en concreto concebida en el diseño se ubicaba bajo los carriles mixtos de la carrera 10 y 7 entre las Calles 26 y 30A, como se puede observar en la figura No. 5. Esta situación ocasionaría que dichos carriles de las Carreras 10 y 7, se apoyaran en dos tipos de soporte, es decir una parte de la calzada quedaría apoyada sobre la placa superior de la Estación Museo Nacional y otra parte sobre el terreno natural. Así las cosas, a pesar que las condiciones geométricas no fueron afectadas en este sector de forma considerable, se presentó tal afectación en la estructura y desempeño propiamente dicho del pavimento.

Esta nueva problemática durante la etapa de construcción ocasionó tener que reevaluar el diseño de pavimento rígido, teniendo como consideración fundamental los asentamientos diferenciales en las capas de la base del pavimento rígido que se generarían por el cambio de rigidez en el soporte.

Como primera alternativa, se dio la posibilidad de incluir en el sistema dentro de la estructura de pavimento, materiales tipo geosintéticos y para este caso en particular, la inclusión de la Geomalla Biaxial tipo R-100 elaborada a base de fibra de vidrio la cual se colocaría entre las capas asfálticas, en una franja de 2m distribuida sobre la placa superior en concreto de la estación y sobre la estructura de pavimento apoyada en terreno natural, de forma constante.

Por otro lado, para el manejo adecuado de la zona de transición del pavimento entre la placa superior en concreto de la estación y la estructura convencional de pavimento, la alternativa de diseño de la estructura contempló la construcción de una ménsula longitudinal a lo largo de la estación, con el fin de mitigar la afectación por el cambio de rigidez en el soporte del pavimento. Para controlar este segundo punto de cambio de rigidez, se planteó la inclusión de un geosintético tipo geotextil tejido de referencia T-2400 o geomalla biaxial con referencia LBO-202, material que se extendería totalmente dentro la capa de subbase granular a 10cm sobre la ménsula y a su vez se debería centrar completamente con respecto al borde exterior de dicha ménsula en toda la longitud de su construcción. A continuación se representa por medio de la figura 4, el diseño inicial planteado para la zona de afectación a los pavimentos por la Estación Museo Nacional:

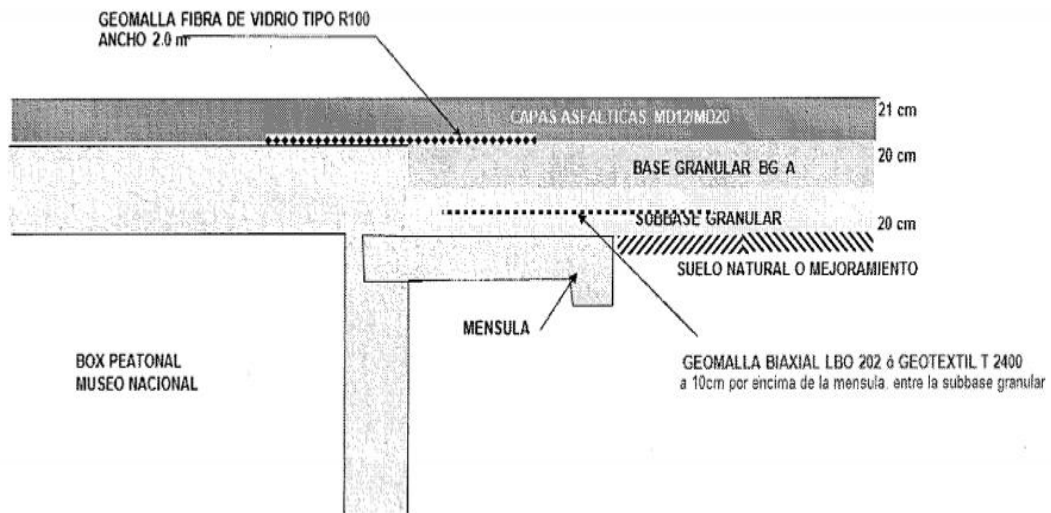


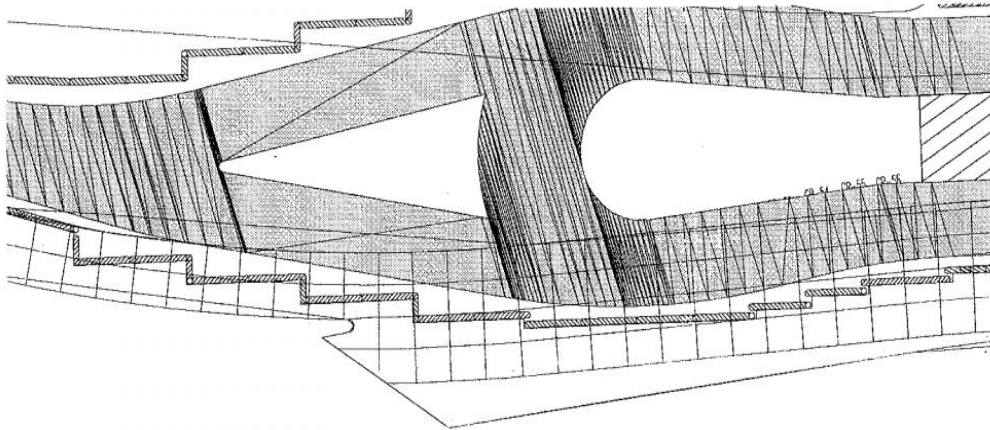
Figura 5. Alternativa – estructura tipo flexible

Inicialmente, se consideró innecesario el cambio del pavimento rígido a pavimento flexible, debido a los altos espesores que conformaban la estructura de pavimento, en cuanto a la losa y su estructura granular, es decir, losas en concreto MR-45 de 23cm, capa de mezcla asfáltica MD-12 de 5cm y capa de base granular de 20cm, para un total de 48cm de espesor sin considerar que una parte o la totalidad de la subrasante de la zona tuviese que ser mejorada con rajón, tratamiento que comprendía un espesor de 40cm (30cm rajón, 10cm relleno seleccionado). Lo anterior dado que espesores tan altos de pavimentos brindarían la adecuada transición modular para el apoyo de las losas de concreto, o dicho de otra forma, en la primera fase de revisión de esta propuesta se despreció cualquier tipo de asentamiento en la zona de cambio de rigidez.

La primera alternativa en cuanto a la implementación del pavimento flexible con el refuerzo de la capa asfáltica y capas granulares por medio de geosintéticos, fue soportada en los siguientes aspectos:

- La diferencia de rigidez en el soporte puede causar daños en cualquier tipo de pavimento (rígido o flexible); por lo tanto, es necesario reducir al máximo los asentamientos diferenciales a lo largo de la zona afectada por la estación museo nacional.
- El diseño geométrico de la vía era totalmente independiente al alineamiento de la estación Museo Nacional, en cuanto a los elementos estructurales y de cimentación de la estación subterránea conocidos como barretes preexcavados; por lo tanto, delimitar las losas del pavimento rígido para hacer coincidir las juntas longitudinales de éstas con el alineamiento de los barretes, era una tarea sumamente dificultosa por la irregularidad y al análisis y modulación prácticamente por losa (ver figura 5); Igualmente, la

coincidencia de las juntas con el alineamiento de los barretes no era conveniente puesto que los barretes se construyeron con el sistema de viga guía – almeja, es decir, se controla el alineamiento durante el proceso constructivo de dichas estructuras pero los barretes por las condiciones del suelo tienden a expandirse motivo por lo cual no se generaban bordes rectos, lo que impedía realizar la coincidencia de dichos bordes con la junta longitudinal del pavimento.



**Figura 6. Límites estructuras estación Museo Nacional Vs. Modulación losas pavimento**

- Al realizarse algún tipo de asentamiento de los rellenos en el trasdós de los barretes (compuestos por suelos cohesivos compresibles y rellenos de espesores variables y calidades diferentes), éstos podrían reflejarse en el pavimento rígido y así presentar condiciones de fisuración con consecuencias de escalonamientos y fracturas de las losas, lo cual implicaría un gran impacto en términos económicos y de impacto urbano para la reparación del pavimento, que los generados si la construcción se realizara en pavimento flexible.
- De acuerdo con lo anterior, la pérdida de soporte por el asentamiento de las capas subyacentes del pavimento; es decir, la capa asfáltica y la capa granular que asumirían los asentamientos sin mayores contratiempos, ocasionarían el desprendimiento de las losas de concreto generando vacíos por debajo de dichos elementos y por ende puntos vulnerables por donde se podrían fracturar las losas, aun si éstas contaran con refuerzo.
- El cambio del pavimento rígido diseñado a un pavimento flexible, proponía a su vez, la implementación de geomallas tipo biaxiales, las cuales hoy en día ofrecen soluciones prácticas en estándares de alta tecnología para la repavimentación; sin embargo, para este caso específicamente, su función estaría completamente relacionada con el refuerzo de pavimentos.

En este punto de la revisión del diseño de pavimento adaptado para la zona, no había sido resuelto el inconveniente en cuanto al periodo de diseño, ya que

precisamente los motivos de no aceptar la propuesta inicial en pavimento flexible, obedeció a que el producto de la etapa de Estudios y Diseños fue un pavimento flexible para un período de 10 años, y como ya se mencionó, el contrato estableció un periodo de diseño de 20 años para el pavimento, lo cual en Colombia en términos de pavimento flexible no es posible lograrlo a menos de que se implementen asfaltos modificados con polímeros u otros materiales que permitan reducir el envejecimiento del asfalto.

Bajo la premisa de las posibles consecuencias por los asentamientos diferenciales y el inconveniente de implementar un pavimento flexible que no cumpliría con el período de diseño establecido por el Contratante, se analizó desde el punto de vista conceptual, la posibilidad de diseñar losas reforzadas de contrapiso que pudieran tener alguna forma de acartelamiento para contrarrestar los efectos del cambio de rigidez en el soporte del pavimento. Dicho sistema podría conformarse de losas reforzadas soportadas por medio de pilotes de transferencia de carga al suelo.

La propuesta fue evaluada técnica y económicamente, siendo este último aspecto el motivo por el cual se descartó para su implementación. El análisis económico de las dos alternativas, se puede observar en el capítulo 7.

La situación fue motivo de preocupación, debido a que sin importar el tipo de pavimento, los asentamientos que se generarían por cuenta de las estructuras de la estación Museo Nacional, específicamente por los barretes preexcavados, eran inminentes. Como se puede observar en los anexos, las cuales representan los perfiles de variación del asentamiento con respecto a la distancia de los barretes, aun considerando la rigidez alta de dichos elementos, durante las excavaciones para la conformación del pavimento, se podían presentar deformaciones verticales a nivel de la calzada oriental (Carreras 10 y 7).

Las simulaciones mostraron los asentamientos generados del orden de 2 a 5cm entre las abscisas objeto del estudio (abscisas 40 y 68 – abscisado exclusivo de la zona de análisis geotécnico), zona donde se observaba el cuenco de mayor deflexión afectando notablemente el ancho de la calzada; igualmente, entre abscisas 65 y 68m, se podría presentar un asentamiento de 2.0cm a una distancia de apenas 3.0m de la excavación, longitud menor a las losas diseñadas y por ende podría generar fractura, puesto que los carriles deberían tener mayor longitud en el ancho de las losas. La verificación y concepto sobre el análisis geotécnico realizado, no hace parte del presente trabajo, motivo por el cual, solo se enunciaran los procesos y resultados, que dieron origen a la implementación del diseño definitivo.

Por otro lado, también se debía tener en cuenta un incremento en las deformaciones verticales que se presentarían en la zona de los accesos a la estación cuya área de excavación era mayor por la generación de formas en

ovoide diseñadas y con alturas variables; es decir, dichas zonas incrementarían la afectación por asentamientos en la Carrera 7.

Otro aspecto a tener en cuenta para la no construcción de pavimento rígido, correspondía a la presencia de suelos cohesivos y compresibles y rellenos de variables condiciones y calidades, los cuales generarían el abatimiento del nivel freático durante las excavaciones, considerado por el orden de 2.5m desde el borde externo de los barretes, factor que produciría a su vez, asentamientos adicionales y por lo cual la placa de pavimento rígido podría estar sometida a una mayor cantidad de esfuerzos, aun cuando dichos asentamientos fueran mínimos. La situación ocasionaría que las losas que se construyeran trabajaran en voladizo en una longitud de hasta 3.0m, según la modelación realizada, como se puede observar en la figura 6.

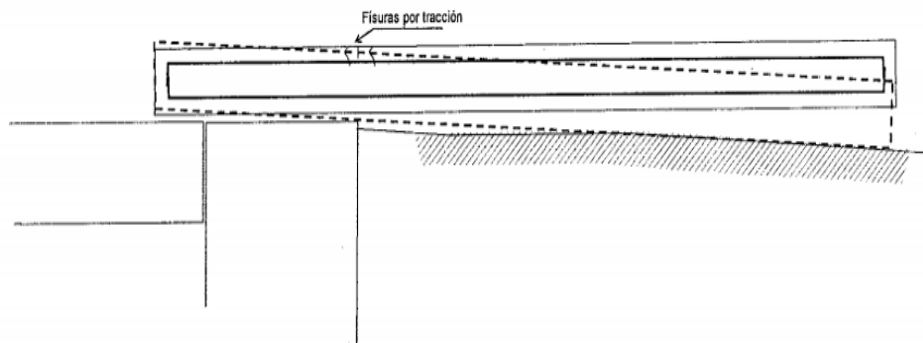


Figura 7. Afectación losa de pavimento por asentamientos

Ante esta situación, la mejor opción en este punto del análisis tanto técnica como económicamente, la representaba la implementación del pavimento flexible, por aportar la mejor respuesta ante las deformaciones producto de los asentamientos que se previeron durante la vida útil del pavimento.

A pesar de contar con refuerzo, la condición de las losas en voladizo ocasionaría daños por fracturas, en corto tiempo. Las losas de los carriles mixtos en este sector, fueron diseñadas con 23cm de espesor pero descontando el recubrimiento de 10cm de la malla de acero para refuerzo, se tendría un espesor efectivo muy reducido que permitiría que la losa se deflectara hasta ocasionar algún tipo de escalonamiento y fisuras. Por otro lado, sin considerar refuerzo para las losas, al trabajar en voladizo se tendría una rotura total por fracturas en corto tiempo.

La situación de asentamientos por el abatimiento del nivel freático, fue objeto de estudio e instrumentación geotécnica implementada en el sector. Con dicho estudio para medir los asentamientos generados, también se llevó a cabo el análisis de los desplazamientos verticales en los cuales estaba involucrado el rebote elástico por la excavación. El abatimiento del nivel freático se generaría a causa de los sistemas de drenaje propuestos para las obras al interior de la

Estación Museo Nacional, que consistían en perforaciones en los barretes para crear drenajes tipo lloraderos distribuidos a lo largo de dicha estación.

Mediante el programa *PHASE 2*, se estimaron los valores del desplazamiento en la parte externa de los barretes (terreno natural), los cuales se generarían por la excavación para la construcción de dichas estructuras y que tendrían como valor máximo 21mm por encima del nivel original. Esta situación sería producida por el rebote elástico del suelo para la profundidad establecida de las estructuras de 7.50m. Las gráficas de los estudios realizados, no hacen parte de la presente monografía por tratarse de un tema específicamente geotécnico que dio origen a la modificación del diseño de pavimentos. (Anexo 9)

Una vez revisada la información producto de la modelación geotécnica por parte de los especialistas de cada una de las partes del proyecto, información que contenía los aspectos de asentamientos generados por rebote elástico de las excavaciones, asentamientos por el abatimiento del nivel freático y asentamientos por cambios de rigideces que impedirían el óptimo funcionamiento del pavimento y en especial del pavimento rígido cuyas losas quedarían trabajando en voladizo, y ante el efecto por el comportamiento de los materiales de rigideces distintas bajo la estructura de pavimento que se reflejaría en la rasante de la vía con consecuencias de rotura de losas y escalonamientos, se concluyó que la alternativa más adecuada desde el punto de vista técnico y económico, correspondía a la construcción de un pavimento flexible, ya que éste tipo de pavimento, permitía asimilar los asentamientos en el orden de magnitud que se proyectarían con el paso del tiempo, reproduciendo la curvatura que se podría generar ante la presencia de las cargas en las capas subyacentes; Igualmente, cualquier evidencia de fisuración o deformaciones por asentamientos, podrían ser controladas con mantenimientos de intervención inmediata.

Así las cosas, se mantuvo la propuesta de pavimento flexible en los carriles mixtos de la Estación Museo Nacional, dado que dicho tipo de pavimento tiene la capacidad de deformarse con los asentamientos del suelo subyacente (hasta cierto punto de acuerdo con los análisis de asentamiento máximo), restringiendo en menor medida el uso vehicular de la vía no solo en operación sino en cualquier tipo de reparación que tuviera que realizarse. De esta forma, se planteó el reemplazo del pavimento rígido ante cambios drásticos de la rigidez del soporte y la generación inminente de fisuración, por el pavimento flexible, con el fin de garantizar a largo plazo la conservación del pavimento, el cual se constituiría por la siguiente estructura:

Capa	Espesor (cm)
Rodadura MD-12	5,00
Intermedia MD-20	8,00
Base asfáltica MD-20	8,00
Base granular BG-A	20,00
Subbase Granular SBG-A	20,00

**Tabla 5. Espesores de pavimento flexible**

La anterior estructura fue producto de la actualización de los diseños iniciales de pavimento flexible, para un período de diseño de 20 años, iniciando dicho período al colocar en servicio el corredor de la Carrera 10 y 7 al tránsito mixto en el año 2011.

El informe geotécnico concluyó que por la ocurrencia de asentamientos diferenciales en el terreno en la parte externa de los barretes (contra el terreno), era inevitable y por el orden de magnitud de los desplazamientos verticales que se presentarían o se preveían, no era conveniente la implementación de un pavimento rígido. Por lo tanto, se estableció la anterior estructura de pavimento, como la opción a implementar.



## 7 ANÁLISIS DE COSTOS

Con el fin de evaluar varias alternativas antes de dar el respectivo aval sobre la implementación de un pavimento flexible en el corredor de la Carrera 10 y 7 entre las Calles 26 y 30A, se presentaron dos propuestas, las cuales corresponden a pavimento flexible con espesores considerables de mezcla asfáltica y con geosintéticos de refuerzo para las capas asfálticas y las capas granulares y un sistema de placas de contrapiso con apoyo en pilotes. El área afectada correspondía a 3645 m<sup>2</sup> correspondientes a una longitud de 315m entre las Calles 26 y 30A.

<b>ANÁLISIS DEL COSTO POR METRO CUADRADO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>					
<b>ALTERNATIVA PAVIMENTO FLEXIBLE</b>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
1	SUBBASE GRANULAR SBG-A (NORMA IDU ET-2005)	M3	0,20	\$ 98.144,00	\$ 19.628,80
2	BASE GRANULAR BG-A (NORMA IDU ET-2005)	M3	0,20	\$ 101.529,00	\$ 20.305,80
3	IMPRIMACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRL	M2	1,00	\$ 1.030,00	\$ 1.030,00
4	RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRR	M2	1,00	\$ 900,00	\$ 900,00
5	MEZCLA DENSA EN CALIENTE MD-20 (NORMA IDU ET-2005) BASE ASFÁLTICA	M3	0,08	\$ 389.977,00	\$ 31.198,16
6	MEZCLA DENSA EN CALIENTE MD-20 (NORMA IDU ET-2005) CAPA INTERMEDIA	M3	0,08	\$ 389.977,00	\$ 31.198,16
7	MEZCLA DENSA EN CALIENTE MD-12 (NORMA IDU ET-2005) CAPA DE RODADURA	M3	0,05	\$ 404.131,00	\$ 20.206,55
8	GEOMALLA BIAXIAL PARA REFUERZO EN MATERIAL GRANULAR	M2	1,00	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
9	GEOMALLA BIAXIAL EN FIBRA DE VIDRIO PARA REFUERZO EN CAPA ASFÁLTICA	M2	1,00	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
<b>COSTO x METRO CUADRADO</b>					<b>\$ 148.467,47</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO ÁREA AFECTADA</b>				<b>3645 M2</b>	<b>\$ 541.163.928,15</b>
<b>PRECIOS DIC.2007 (Mes firma contrato)</b>					

Tabla 6. Evaluación costos pavimento flexible

Con el fin de establecer los costos de la implementación de un diseño de pavimentos para un período de 20 años, se presentó ante la entidad contratante, la evaluación de un sistema placa de contrapiso con cimentación

en pilotes, específicamente para el tramo de las Carreras 10 y 7, comprendido entre las Calles 26 y 30A. Esta alternativa fue analizada técnicamente, con el fin de construir un pavimento en concreto rígido atípico pero que cumpliera con un periodo de diseño de 20 años, lo cual como ya se manifestó, estaba establecido en los términos del contrato.

ALTERNATIVA PAVIMENTO RIGIDO CON PILOTES					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
1	CONCRETO 4000 P.S.I.	M3	0,25	\$ 456.383,00	\$ 114.095,75
2	ACERO DE REFUERZO	Kg	20,00	\$ 2.725,00	\$ 54.500,00
3	MICROPILOTES HINCADOS DE DIÁMETRO 20 CM Y LONGITUD 12 METROS APROXIMADA	ML	6,67	\$ 140.000,00	\$ 933.800,00
<b>COSTO x METRO CUADRADO</b>					<b>\$ 1.102.395,75</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO ÁREA AFECTADA PRECIOS DIC.2007</b>				<b>3645 M2</b>	<b>\$ 4.018.232.508,75</b>

Tabla 7. Evaluación costos pavimento rígido

Así las cosas, y teniendo en cuenta la notable diferencia económica ante un diseño de pavimento en concreto rígido con condiciones especiales de apoyo para evitar las afectaciones por asentamientos, se dio el aval por parte de la entidad contratante de implementar el diseño en pavimento flexible.

Sin embargo, a pesar de tener definida una estructura de pavimento, no se había dado solución al deterioro en menor tiempo del concreto asfáltico, con respecto a un concreto hidráulico, lo cual correspondía al diseño de pavimentos en flexible que cumpliera con un periodo de 20 años. Ante esta problemática, la alternativa a implementar debía considerar las metodologías y/o estrategias de mantenimiento, puesto que la conservación del pavimento debía incluirse en los modelos de deterioro tipo HDM-4 y/o Pavement Evaluator, con el fin de establecer el tipo y frecuencia de intervención en el tiempo establecido contractualmente de vida útil del pavimento.

Esto último hace parte de los productos a implementar por parte del constructor del proyecto en la etapa de mantenimiento del contrato IDU-136 de 2007, con el fin de lograr que la malla vial del distrito de la ciudad de Bogotá D.C. se conserve en las mejores condiciones durante la vida útil para la cual se diseñó el pavimento.

## 8 VENTAJAS POR UTILIZACIÓN GEOSINTÉTICOS

- Mejorar la capacidad portante, resistencia a movimientos y deformaciones laterales de la estructura de pavimento, en este caso, con geomallas co-extruidas.
- Evitar y/o reducir 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 antiguo, en este caso, con geomallas en fibra de vidrio.
- Reducir espesores de materiales granulares con la utilización de refuerzo en capas de base y subbases.
- Para el caso objeto de la presente monografía, la aplicación va dirigida a la función de obtener el refuerzo de la estructura de pavimento ante los cambios de rigidez en el soporte, por presentarse una parte del pavimento sobre una placa rígida y otra parte sobre el terreno natural.
- Ofrecer mayor durabilidad de la estructura de pavimento por su trabajo conjunto con los materiales granulares del pavimento. Esta situación permitirá que el pavimento requiera menores costos en mantenimiento una vez se presenten los asentamientos previstos en el estudio geotécnico, costos que dependerán del grado de fisuración y/o deformaciones que se presenten.

## 9 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

Finalizado el análisis de la información obtenida durante la etapa de Estudios y Diseños, y establecidos los respectivos conceptos entre las partes por el conflicto por los diseños incompletos, los ajustes y modificaciones al pavimento, los términos del contrato que obligaban a la implementación de un pavimento para un período de 20 años, etc., la entidad contratante dio su aval para la construcción de pavimento rígido con el ánimo de cumplir a cabalidad las obligaciones contractuales, con obras respaldadas técnicamente; esto sumado al hecho de la ausencia de estrategias para la conservación y mantenimiento del pavimento flexible del diseño inicial que se realizó solo para 10 años y la subvaloración del Modulo de la base estabilizada con cemento planteada; sin embargo, por la ocupación de parte de la estación Transmilenio Museo Nacional bajo los carriles mixtos y las afectaciones que podrían presentarse por los cambios de la rigidez del soporte del pavimento, se decidió construir un pavimento flexible entre el K6+086 y K6+415 de la Carrera 10 y 7 – Calzada Oriental, con la metodología que a continuación se relaciona:

### ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

- Capa de rodadura en mezcla asfáltica MD-12 de 5cm constante a lo largo del tramo afectado
- Capa de mezcla asfáltica tipo MD-20 de 16cm
- Geomalla biaxial en fibra de vidrio para refuerzo carpeta asfáltica
- Capa de Base Granular de 20cm, que reemplazaría la capa MTC de 15cm por algunas ventajas entre estas su rendimiento en obra
- Geomalla biaxial co-extruida en polipropileno para refuerzo capas granulares
- Capa de Subbase Granular de 20cm, con geomalla biaxial co-extruida en polipropileno para reforzar zona con cambio de rigidez
- Mejoramiento con rajón dependiendo el estado del material remanente

De acuerdo con lo anterior, a continuación se presenta la estructura de pavimento avalada por la entidad contratante para su implementación en la zona con inconvenientes geotécnicos por asentamientos.

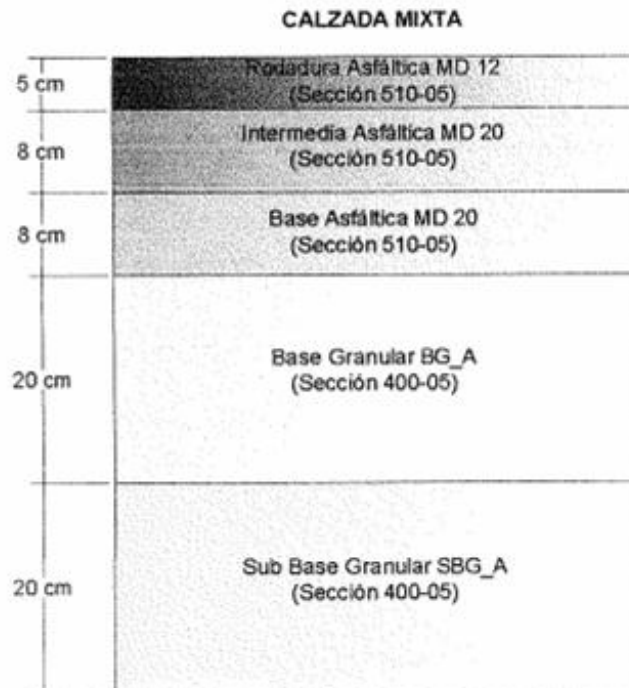


Figura 8. Estructura de pavimento flexible tramo afectado

Teniendo en cuenta la figura 7, y finalizadas las obras de estructuras para garantizar el confinamiento de la vía y la construcción de la ménsula en concreto, el proceso constructivo se desarrolló de la siguiente forma:

1. Excavación mecánica hasta las cotas de subrasante establecidas en el diseño de pavimento.
2. Mejoramiento de la subrasante con rajón y colocación de material seleccionado para sellar la superficie del rajón.
3. Colocación de subbase granular Tipo A (SBG-A), de acuerdo con la norma IDU-ET-2005, Sección 400-05. Este material se colocó y compactó en un espesor de 10cm con equipo liviano debido al espesor.
4. Instalación de geomalla biaxial co-extruida sobre la capa de subbase granular de 10cm, la cual se distribuyó de manera uniforme sobre garantizando ser repartida en dos partes iguales tomando como eje el borde externo de la ménsula en concreto.
5. Colocación de Subbase granular Tipo A (SBG-A), de acuerdo con la norma IDU-ET-2005, Sección 400-05. Este material se colocó y compactó en un espesor de 10cm con equipo liviano debido al espesor. Para evitar afectaciones en el material y en la estructura de concreto de la Estación Museo Nacional, se utilizó equipo mecánico de alrededor de 2 toneladas.

6. Colocación de Base granular Tipo A (BG-A), de acuerdo con la norma IDU-ET-2005, Sección 400-05. Este material se colocó y compacto en la totalidad de su espesor de 20cm con equipo pesado. El proceso de céreo (nivelación) del material, se desarrolló con motoniveladora.
7. Imprimación con emulsión asfáltica tipo CRL, de acuerdo con la norma IDU-ET-2005, Sección 500-05. Se utilizó carrotanque con sistema irrigador.
8. Colocación base asfáltica MD-20 en su primera capa de espesor variable de acuerdo con la norma IDU-ET-2005, Sección 510-05.
9. Riego de Liga con emulsión asfáltica tipo CRR, de acuerdo con la norma IDU-ET-2005, Sección 502-05. Se utilizó carrotanque con sistema irrigador.
10. Se colocó la geomalla biaxial en fibra de vidrio para el refuerzo de las capas asfálticas. La geomalla fue anclada a la capa asfáltica colocada, para garantizar su estabilidad con el paso de la terminadora (finisher). Una vez instalada, se realizó un segundo riego de liga con menos volumen al primer riego realizado, con el fin de garantizar la adhesión de la geomalla a la capa superior.
11. Colocación y compactación base asfáltica MD-20 en su segunda capa de aproximadamente 6cm de acuerdo con la norma IDU-ET-2005, Sección 510-05.
12. Colocación y compactación mezcla asfáltica MD-12 para capa de rodadura en espesor de diseño de 5cm de acuerdo con la norma IDU-ET-2005, Sección 510-05.

Es importante mencionar, respecto a los anteriores numerales 1 y 2, que para la subrasante se planteó realizar el siguiente procedimiento, dependiendo su estado:

- Zonas con suelo natural o con materiales remanente contaminados y/o saturados, se debía retirar en su totalidad en capas de 45 cm de los cuales 30 corresponderían a rajón y sello y 15 de material seleccionado.
- Si el material se encontraba en estado aceptable, no se utilizaría rajón y solo se colocarían los 15cm de capa de material seleccionado.
- Para las zonas adyacentes a pozos y cámaras de las Empresas de Servicios Públicos, se propuso realizar la compactación con equipos manuales y con la posible adición de cemento para mejorar las condiciones de compactación en dichos sitios vulnerables.

- Para las zonas donde se distribuirían las tuberías de los colectores de alcantarillado o cruces de redes secas, se realizaría la colocación de las capas granulares conforme a la normatividad de cada Empresa de servicios públicos pero estos rellenos se colocarían hasta alcanzar las capas de la estructura de pavimento bajo especificación IDU-ET-05 sección 320-05.

De acuerdo con el anterior proceso que describió las recomendaciones concertadas entre los participante del proyecto, se ejecutaron las obras cuyo desarrollo se presentará en el siguiente capítulo.

## 10 REGISTRO FOTOGRÁFICO

A continuación se describe brevemente mediante el registro fotográfico de la obra, el proceso constructivo del pavimento reforzado con geomalla instalada en capas asfálticas y en capas granulares:

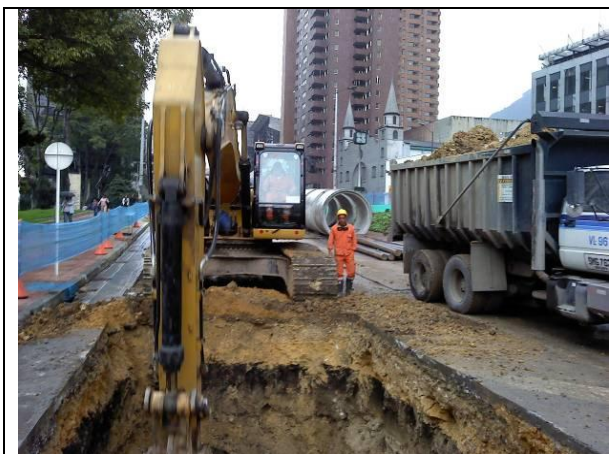


Foto No. 1: DEMOLICIÓN Y EXCAVACIÓN DE VÍA EXISTENTE



Foto No. 2: MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE CON RAJÓN



Foto No. 3: INSTALACIÓN GEOMALLA BIAIXIAL GRANULARES



Foto No. 4: COMPACTACIÓN SBG-A SOBRE GEOMALLA



Foto No. 5: CÉREO Y COMPACTACIÓN BG-A



Foto No. 6: IMPRIMACIÓN CON CRLS SOBRE CAPA DE BG-A





Foto No. 7: MEZCLA ASFALTICA MD-20 1° CAPA



Foto No. 8: COMPACTACIÓN 1° CAPA MD-20



Foto No. 9: INSTALACIÓN GEOMALLA F.V. EN CAPA MD-20



Foto No. 10: COLOCACIÓN MD-20 SOBRE GEOMALLA F.V.



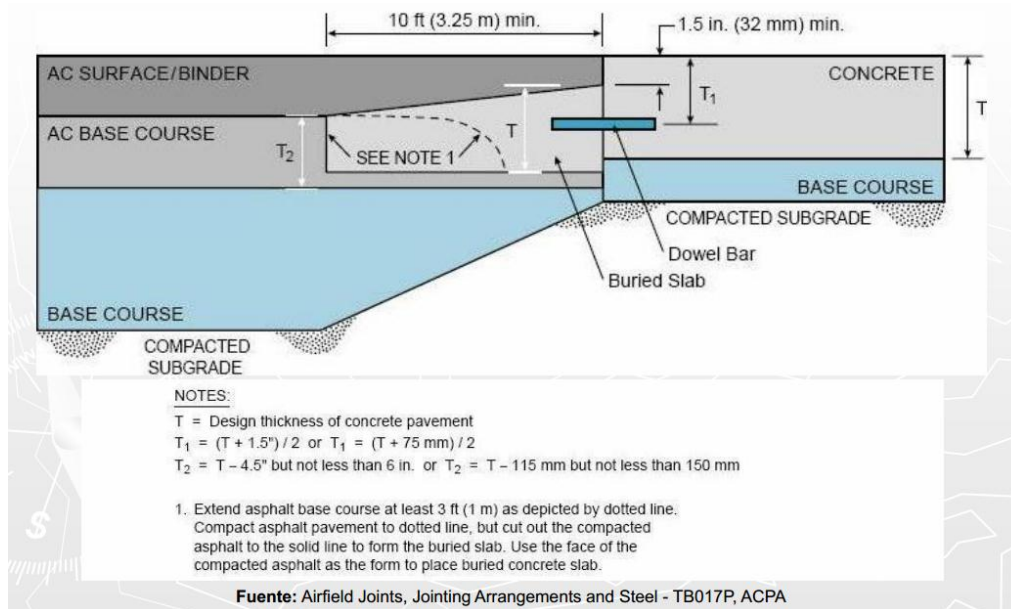
Foto No. 11: EXTENDIDA CAPA RODADURA EN MD-12



Foto No. 12: COMPACTACIÓN CAPA RODADURA MD-12

En la Carrera 7 con Calle 30A en el costado oriental al finalizar la afectación de la Estación Museo Nacional en los pavimentos, abscisa K6+415, se construyó el empalme del pavimento rígido con el pavimento flexible. Para evitar las afectaciones por la transición de un tipo de pavimento a otro, se construyó una

losa de concreto MR-45 para la transición y sobre ésta se colocó la capa de mezcla asfáltica MD-12 o capa de rodadura. La losa de transición presentó acartelamiento para lograr la reducción de espesores de forma lineal y no repentinamente. Este tipo de losas de transición se construyen bajo el diseño de losas establecidas para aeropistas con situaciones similares, en donde debe existir un acartelamiento como lo muestra la siguiente figura:



**Figura 9. Diseño losas para transición pavimento rígido flexible**

Con la implementación del diseño de este tipo de losas, se construyó el empalme, al cual adicionalmente, se le instaló geomalla biaxial para reducir la posibilidad de fisuración en el punto de cambio de rigidez, a corto plazo.



**Foto No. 13: INSTALACIÓN GEOMALLA BIAIXIAL SOBRE LOSA TRANSICIÓN**



**Foto No. 14: COMPACTACIÓN CAPA DE RODADURA MEZCLA MD-12, SOBRE LOSA DE TRANSICIÓN CON GEOMALLA F.V.**

A continuación se presenta el registro fotográfico de la Carrera 10 y 7 entre las Calles 26 y 32, en donde puede observar el estado del pavimento con las condiciones actuales de tráfico:

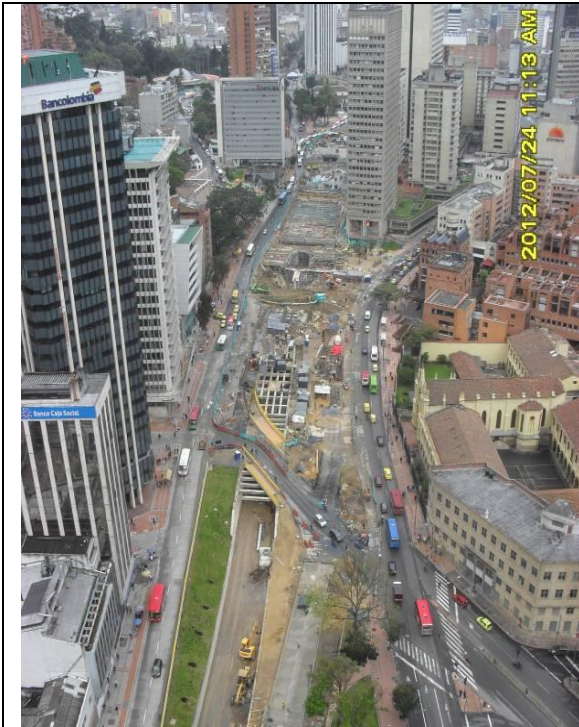


Foto No. 15 - Carreras 10 y 7 entre Calles 26 y 32: Obras en ejecución de la Estación Museo Nacional

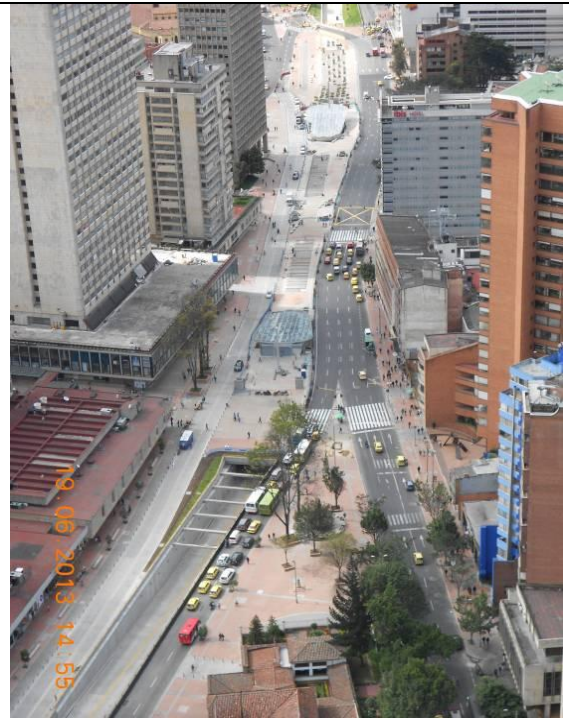


Foto No. 16 - Carreras 10 y 7 entre Calles 26 y 32: Estado final obras Estación Museo Nacional y Pavimentos.



Foto No. 17 - Carreras 10 y 7 con Calle 27: Inicio pavimento flexible sobre Estación Museo Nacional

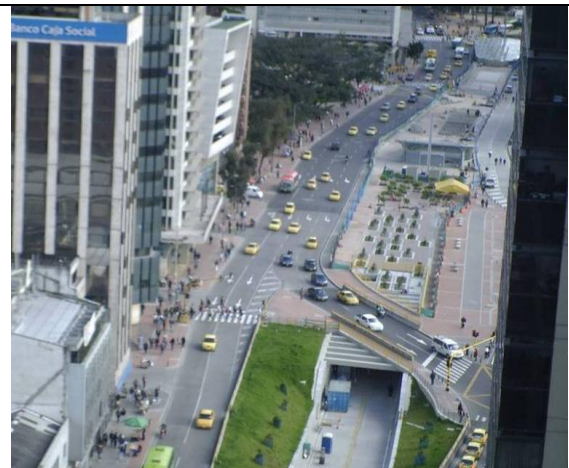


Foto No. 18 - Carreras 7 con Calle 30A: Final pavimentos afectados por Estación Museo Nacional.

## 11 CONCLUSIONES

- Mediante el caso expuesto el cual corresponde a las obras de Transmilenio S.A., específicamente la construcción de los pavimentos en las zonas cercanas a la Estación Museo Nacional, se identificaron las ventajas con el uso de Geosintéticos como medio de refuerzo para retardar la fisuración temprana y extender la vida útil del pavimento.
- En el caso de los pavimentos de la Estación Museo Nacional, se mencionaron algunos inconvenientes de tipo geotécnico, específicamente los asentamientos diferenciales previstos por las obras subterráneas bajo la Carrera 10 y 7, que tuvieron como consecuencia el cambio del tipo de pavimento para una parte del corredor (entre las Calles 27 y 30); inconvenientes que dieron origen a la incorporación de geosintéticos en la estructura de pavimento construida, para prevenir daños a gran escala y mantener la vida útil del pavimento.
- Por el cambio de rigidez en el soporte de la estructura de pavimento en las Carreras 10 y 7 entre las Calles 27 y 30; es decir, por tener el pavimento una parte de su apoyo sobre una placa rígida y otra parte sobre el terreno natural, fue otra razón para la incorporación de geosintéticos, en este caso, geomallas de tipo biaxial tanto en materiales granulares (en polipropileno) y en mezclas asfálticas (en fibra de vidrio).
- Desde el punto de vista técnico, los Geosintéticos son un producto que ha permitido optimizar los procesos de construcción y la vida útil del pavimento, tras mejorar la capacidad portante de la estructura de pavimento; en general, con el uso de dichos materiales, se han logrado mantener en buenas condiciones las diversas obras de pavimentos, lo cual reduce los tiempos en que las vías se tengan que volver a intervenir. Es fundamental el uso de estos productos como refuerzo de pavimentos sobre estructuras antiguas.
- Desde el punto de vista económico, los Geosintéticos has logrado reducir los costos en materiales granulares por la reducción de espesores, conforme a los diseños en que se incorporan dichos productos. Igualmente, al mejorar las propiedades, no sólo de los materiales que conforman una estructura de pavimento sino también de las carpetas asfálticas para obras exclusivas de refuerzo de las mismas, se reducen las obras de mantenimiento, extendiendo a su vez, las frecuencias de intervención.
- Para el caso expuesto en el presente documento, es importante mencionar que luego de haber dado al servicio hace aproximadamente un (1) año la

vía en la zona con afectaciones por el cambio de rigidez en el soporte del pavimento, el corredor presente un estado normal de desempeño, sin que se tengan indicios de fisuración, ni daños por asentamientos que se podrían ver reflejados en irregularidades de la rasante del pavimento (deformaciones). Así las cosas, los pavimentos se comportan a la fecha de forma adecuada bajo la carga de tránsito actual; Igualmente, previendo cualquier tipo de anomalía, la estructura de la estación está siendo actualmente objeto de monitoreo geotécnico constante con inclinómetros y piezómetros para detectar cualquier afectación que pueda representar daños no solo en el interior de la Estación Museo Nacional, sino en los exteriores que están representados por obras de espacio público y pavimentos.

- Es importante mencionar, que el presente documento tiene como fin mostrar mediante un caso especial las ventajas que se logran con el uso de los geosintéticos y por lo tanto, se pretende recomendar el uso de dichos materiales, puesto que cumplen satisfactoriamente con el refuerzo de las diferentes capas que conforman una estructura de pavimentos.

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- <http://pavco.com.co/index.php?view=page&id=23>; Pavimentación y Repavimentación
- <http://www.geomatrix.com.co/content/view/full/200>; Geomallas
- [http://www.idu.gov.co/web/guest/tramites\\_doc\\_manuales](http://www.idu.gov.co/web/guest/tramites_doc_manuales); Especificaciones técnicas Geomallas en capas asfálticas v1.0 (PDF - 2.89M).
- [http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/cat\\_view/11-documentos-tecnicos/68-especificaciones-generales-de-construccion-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras](http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/cat_view/11-documentos-tecnicos/68-especificaciones-generales-de-construccion-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras); Especificaciones repavimentación.
- Departamentos de Armada y Fuerza Aérea de Estados Unidos. (1995). Engineering use of Geotextiles. Washington, USA.
- [http://martinezprezmayte.blogspot.com/2013/05/historia\\_15.html](http://martinezprezmayte.blogspot.com/2013/05/historia_15.html): Pagina WEB – Fibras sintéticas.
- [http://www.idu.gov.co/web/guest/entidad\\_mapasitio](http://www.idu.gov.co/web/guest/entidad_mapasitio); Normas y especificaciones técnicas IDU-ET-2005
- [www.revistas.unal.edu.co/index.php/email/article/download/1181/2184](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/email/article/download/1181/2184); Uso de geosintéticos en proyectos de pavimentación en Colombia

Documentos Técnicos inherentes al proyecto de adecuación de la Carrera 10 y Calle 26 al sistema Transmilenio.

- *“ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA TORNCAL CRA 10 DE LA CALLE 34A SUR A LA CALLE 28 Y DE CRA 7 A LA CALLE 34” Informe GE-INT-016-ED1 (Pavimentos), elaborado por el Consorcio La Vialidad Limitada – Civiltec Ingenieros Ltda, Contrato IDU-129-2005*
- *“ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA TORNCAL CRA 10 DE LA CALLE 34A SUR A LA CALLE 28 Y DE CRA 7 A LA CALLE 34” Informe GE-INT-016-ED2 (Caracterización Geotécnica), elaborado por el Consorcio La Vialidad Limitada – Civiltec Ingenieros Ltda, Contrato IDU-129-2005*
- ICPC, LONDOÑO CIPRIANO, “ *Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de concreto*” Primera Edición
- Consorcio Troncal 10, Civiltec – la Vialidad (2005). “*Estudios y Diseños de la Troncal Cra 10ª de la Calle 34 A sur a la Calle 28 y Carrera 7ª de la Calle 28 a la Calle 34. Contrato IDU-129-2005. GE-INT-016 “Informe Final de Análisis de Alternativas y Diseño de pavimentos”, Edición 1.*

# ANEXOS

## ANEXO 1

### NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PAVCO



## GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUIDA

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS P-BX11 / P-BX12

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

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	P-BX11 <sup>1</sup>	P-BX12 <sup>1</sup>
Resistencia a la tensión 2% deformación (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(4.1/6.6) kN/m	(6.0/9.0) kN/m
Resistencia a la tensión 5% deformación (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(8.5/13.4) kN/m	(11.8/19.6) kN/m
Resistencia a la tensión pico (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D6637	(12.4/19.0) kN/m	(19.2/28.8) kN/m
Eficiencia en los nodos <sup>3</sup>	GRI-GG2	93%	93%
Rigidez flexural <sup>4</sup>	ASTM D1388	250 mg - cm x 1000	750 mg - cm x 1000
Rigidez torsional (J) <sup>5</sup>	US ARMY COE	3.2 kg - cm/deg	6.5 kg - cm/deg

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	P-BX11	P-BX12
Tamaño de abertura (SL/ST) <sup>2</sup>	Medido	(25/33) mm	(25/33) mm
Espesor de costillas (SL/ST) <sup>2</sup>	ASTM D1777	(0.76/0.76) mm	(1.27/1.27) mm
Área abierta	CW 02215	75%	80%
Resistencia a los daños de instalación <sup>6</sup>	ASTM D6637	(>90) %SC/%SW/%GP	(>90) %SC/%SW/%GP
Resistencia a la degradación a largo plazo <sup>7</sup>	ASTM D4355-05	>100%	>100%

PRESENTACIÓN	NORMA	P-BX11	P-BX12
Ancho del rollo	Medido	4.0 m	4.0 m
Longitud del rollo	Medido	75 m	50 m
Área del rollo	Medido	300 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>

#### NOTAS

- Valores VMPR (valor mínimo promedio por rollo).
- SL: Sentido longitudinal.  
ST: Sentido transversal.
- Capacidad de transferencia de carga determinada de acuerdo con la GRI-GG2-05 y expresada como un porcentaje de la última resistencia a la tensión.
- Resistencia a la rigidez flexural determinada de acuerdo con la ASTM D5372, en los bordes exteriores de las costillas longitudinales (como una escalera) y la longitud suficiente para permitir mediciones de la rigidez en voladizo. La rigidez es calculada como la raíz cuadrada del producto de los valores de rigidez flexural en sentidos DM y DT.
- Resistencia en el plano rotacional de movimiento medida mediante la aplicación de un momento de 20 kg-cm en la junta central de una muestra de 9' x 9' restringida en su perímetro de acuerdo con la Metodología del Cuerpo de Ingenieros de USA para medida de Rigidez Torsional.
- Resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural cuando la muestra es sometida a esfuerzos de instalación mecánica en arena arcillosa y material grueso clasificado como grava pobremente gradada (GP). La muestra debe ser obtenida de acuerdo con la ASTM D5818-06 y la capacidad de carga debe ser determinada de acuerdo con la norma ASTM D6637-01.
- Resistencia a la pérdida de capacidad o integridad estructural cuando la muestra es sometida a 500 horas de luz ultravioleta y condiciones extremas de intemperie de acuerdo con la ASTM D4355-05.

#### CAMPOS DE APLICACIÓN

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

#### VENTAJAS

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



# GEOMALLA FIBRA DE VIDRIO

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS R-50 / R-100

Las geomallas de fibra de vidrio PAVCO son geomallas flexibles con resistencia en ambas direcciones, se utilizan para controlar agrietamientos por reflexión, fatigas y deformaciones plásticas en sobrecarpas de concreto asfáltico que se emplean en vías urbanas, carreteras, autopistas, aeropuertos, plataformas y parqueaderos, entre otros.

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	R-50	R-100
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia a la tensión última (ST/SL) <sup>1</sup>	ASTM D6637	kN/m	50/50	100/100
	Propiedades de retracción	CRDRG01	%	* Menos del 0.5 % a 200 °C después de 10 Min	* Menos del 0.5 % a 200 °C después de 10 Min
	Elongación máxima a la rotura (ST/SL) <sup>1</sup>	ASTM D6637	%	≤3	≤3
PROPIEDADES FÍSICAS	Tamaño de abertura de la malla (ST/SL) <sup>1</sup>	Medido	mm	20/20	18/18
	Resistencia a la temperatura	Mínimo	°C	200	200
	Punto de fusión	ASTM D276	°C	>300	>300
PRESENTACIÓN	Ancho del rollo	Medido	m	3.9	3.9
	Longitud del rollo	Medido	m	50	50
	Área del rollo	Medido	m <sup>2</sup>	195	195

1. Valores VM/PI (valor mínimo promedio por rollo).  
SE: Sentido transversal.  
SL: Sentido longitudinal.

Las geomallas de fibra de vidrio PAVCO son ideales para el refuerzo de carpetas asfálticas debido a su alta resistencia a la tensión biaxial y baja elongación; poseen un recubrimiento bituminoso asfáltico que garantiza la correcta adhesión de la geomalla al asfalto. Esta adherencia asegura que la geomalla esté en posición de asumir el esfuerzo a la tensión y distribuirlo. La selección de este material está basada en su excelente resistencia a la temperatura, mínima retracción y óptimo módulo elástico (70.000 Mpa).

### VENTAJAS Y BENEFICIOS

- Aumentar la resistencia a la tracción de la capa asfáltica, garantizando bajo una carga vertical, la distribución uniforme de esfuerzos horizontales en una mayor superficie.
- Reducir al mínimo el agrietamiento reflexivo por esfuerzos de tensión y cambios de temperatura en las carpetas asfálticas.
- Aumentar la resistencia a la fatiga de pavimentos sometidos a la acción de cargas cíclicas.
- Proporcionar beneficios de costo, reduciendo el mantenimiento periódico de los pavimentos flexibles.
- Instalación rápida y fácil.
- Se puede emplear para rehabilitaciones de pavimentos de concreto cuando se coloca una carpeta asfáltica sobre estos.

La presente ficha técnica está vigente a partir de enero de 2012. Geosistemas PAVCO se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis, es clara y exacta a nuestro total saber y entender; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control.

CEI (CORREDESA) - Oficina principal: Autopista Sur N° 71-75 - Bogotá D. C., Colombia - Tel: (571) 782-5100 - Fax: (571) 782-5013.  
Servicio al cliente Bogotá: (571) 782-5100 Exts: 3301 / 02 / 03 / 04 / 05 - Todo el país: 01 8000 912 286 - 01 8000 972 286.  
Medellín: (574) 325 6660 - Cali: (572) 442 3444 - Barranquilla: (575) 375 8100.  
E-mail: [geosistemas@geosistemas.com.co](mailto:geosistemas@geosistemas.com.co) - [www.geosistemas.com.co](http://www.geosistemas.com.co)  
DRECO: Av. Segurosobra Industrial 2557, Ate - Lima, Perú - Tel: (511) 627 6030 / 39 - Fax: (511) 627 6039.  
E-mail: [geosistemas@geosistemas.com](mailto:geosistemas@geosistemas.com)

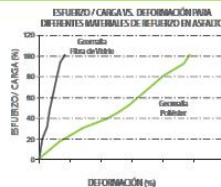
SEPTIEMBRE 2012



# GEOMALLA FIBRA DE VIDRIO

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS R-50 / R-100

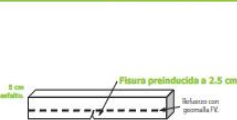
### ALTO MÓDULO DE ELASTICIDAD, BAJAS ELONGACIONES



Para una carga de rotura, un refuerzo con geomalla de fibra de vidrio admitirá deformaciones menores al 3%, mientras que la geomalla de poliéster (PET) admite deformaciones entre el 10 y 15%.

De acuerdo con lo anterior, las geomallas de fibra de vidrio PAVCO presentan una mejor eficiencia cuando son usadas como refuerzo de carpetas asfálticas frente a otras alternativas de refuerzo.

### DISMINUCIÓN DE PROPAGACIÓN DE FISURAS



En un ensayo de propagación de fisuras, las geomallas de fibra de vidrio PAVCO soportan entre 5 y 10 veces más ciclos de carga que una muestra patrón sin refuerzo, mientras que la geomalla sintética (Poliéster-PET) solo soporta 1.5 veces más ciclos de carga, hasta que la fisura se propaga a la superficie.

\* Laboratorio de Investigaciones, Central de Colas de Francia.

### DISMINUCIÓN DE FLEXIONES



Para alcanzar la misma deformación de 15 mm, la muestra reforzada con geomalla de fibra de vidrio soportó 18 veces más ciclos que la muestra sin refuerzo.

\* Laboratorio NPC de Holanda, 1993.



### CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO

Incremento de fatiga:

El uso de geomallas de fibra de vidrio puede incrementar hasta 12 veces el número de ciclos de carga para desarrollar la fisura, lo cual se traduce en vida útil de los pavimentos.

\* Chhote Saraf y Kamran Majidzadeh, Research International, Inc. Transportation Research Board, 1996.

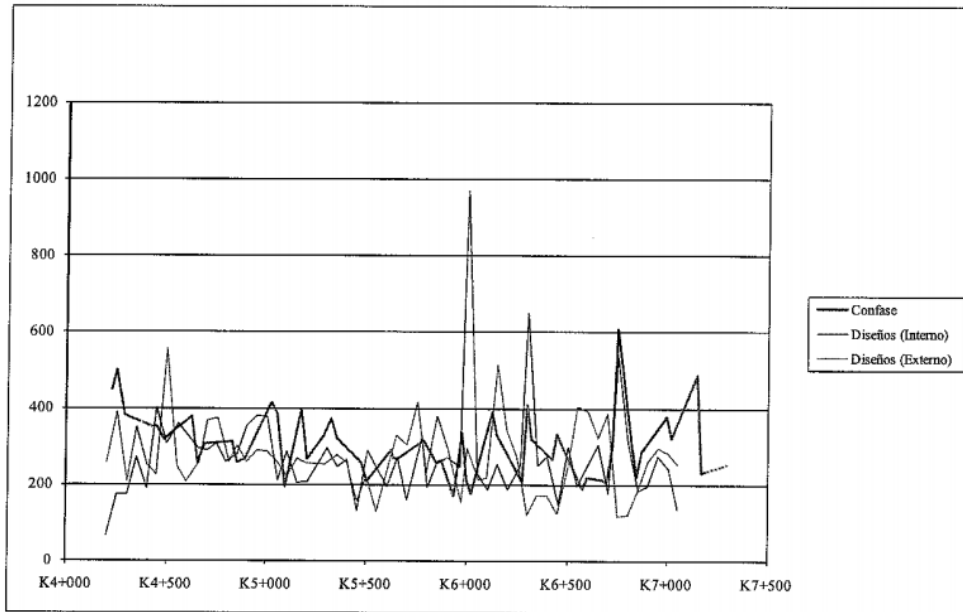
Geosistemas  
**PAVCO**

**Mexichem**  
SOLUCIONES INTEGRALES

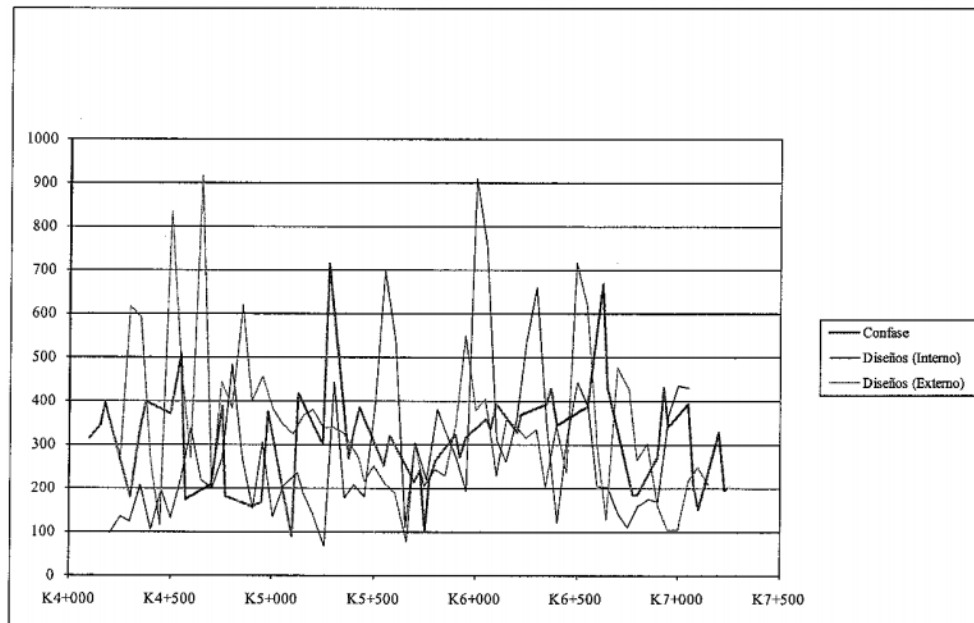


# ANEXO 3

## DEFLECTOMETRÍA CARRERA 10



**Figura 1. Deformaciones FWD Cra10, Calzada Oriental**



**Figura 2. Deformaciones FWD, Cra 10, Calzada Occidental**

## ANEXO 4

### TABLAS CÁLCULO TRÁNSITO - DISEÑO PAVIMENTOS CARRERA 10

CARRERA DECIMA, CARRIL MIXTO  
CALZADA ORIENTAL  
CALCULO DEL NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON.

	Autos	Buses + Camiones	Camiones						FC CAMIONES	FC
			C2P	C2G	C3	C4	C5	C6		
CANTIDAD	0	0	79	249	19	0	0	0		
PORCENTAJES	0,0	0,0	22,8	71,8	5,5	0,0	0,0	0,0		
Fr equivalencia UNICAUCA	0		3,284	3,436	4,62	6,73	4,4	4,72	3,47	3,47

% Vehículos pesados (buses + camiones): A	100,0
% Vehículos pesados en el carril de diseño: B	90
TPD	347
Tasa anual de crecimiento r (%)	1,024
Periodo de diseño n (años)	20

Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton, N	8,76E+06
---	----------

CARRERA DECIMA, CARRIL MIXTO  
CALZADA OCCIDENTAL  
CALCULO DEL NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON.

	Autos	Buses + Camiones	Camiones						FC CAMIONES	FC
			C2P	C2G	C3	C4	C5	C6		
CANTIDAD	0	0	166	318	31	0	0	0		
PORCENTAJES	0,0	0,0	32,2	61,7	6,0	0,0	0,0	0,0		
Fr equivalencia UNICAUCA	0		3,284	3,436	4,62	6,73	4,4	4,72	3,46	3,46

% Vehículos pesados (buses + camiones): A	100,0
% Vehículos pesados en el carril de diseño: B	90
TPD	515
Tasa anual de crecimiento r (%)	1,024
Periodo de diseño n (años)	20

Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton, N	1,30E+07
---	----------

## ANEXO 5

### CÁLCULO DISEÑO PAVIMENTOS CARRERA 10

08-14-2008

```

State: BOGOI'A          Job Number: 899
Agency: IDU
Company: CONFASE       Location: CRA 10 MIXTAS
Contractor: CONCOL    ORIENTAL 3351-7050
Engineer: ABB         ALT DISEÑO
    
```

===== Flexible Analysis =====

```

Structural Number      =      5.28
Design E 18's         =    8,760,000
Reliability            =      95.00 percent
Overall Deviation     =      0.49
Resilient Modulus     =    6,358.0 psi
Initial Serviceability =      4.20
Terminal Serviceability =      2.20
    
```

Layer Number	Layer Coefficient == a (i) ==	Drainage Coefficient ==== Cd ===	Layer Thickness === t ===	a(i)*Cd*t =====
1	0.42	1.00	6.90	2.90
2	0.15	1.00	7.87	1.18
3	0.08	1.00	14.96	1.20
4				
5				
6				

=====  
Total SN = 5.28

08-14-2008

```

State: BOGOT'A          Job Number: 899
Agency: IDU
Company: CONFASE       Location: CRA 10 MIXTAS
Contractor: CONCOL    OCCIDENTAL 5953-7050
Engineer: ABB         ALT DISEÑO
    
```

===== Flexible Analysis =====

```

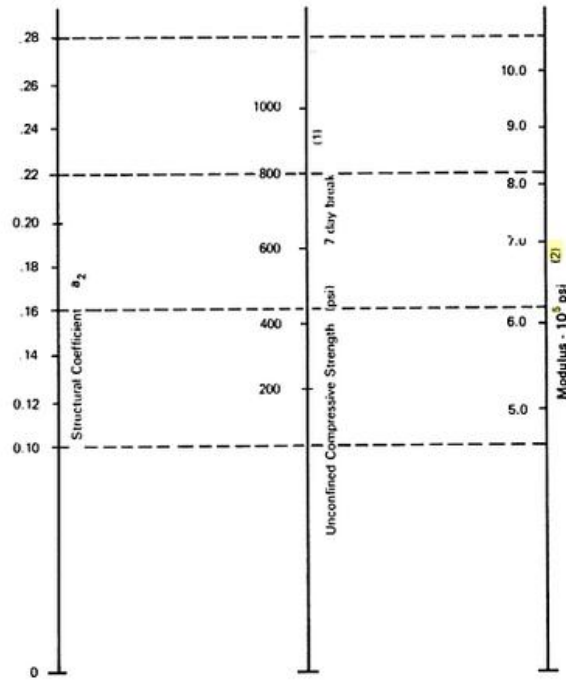
Structural Number      =      5.56
Design E 18's         =   13,000,000
Reliability            =      95.00 percent
Overall Deviation     =      0.49
Resilient Modulus     =    6,358.0 psi
Initial Serviceability =      4.20
Terminal Serviceability =      2.20
    
```

Layer Number	Layer Coefficient == a (i) ==	Drainage Coefficient ==== Cd ===	Layer Thickness === t ===	a(i)*Cd*t =====
1	0.42	1.00	8.48	3.56
2	0.15	1.00	7.87	1.18
3	0.08	1.00	10.24	0.82
4				
5				
6				

=====  
Total SN = 5.56

# ANEXO 6

## MÓDULO BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO



- (1) Scale derived by averaging correlations from Illinois, Louisiana and Texas.
- (2) Scale derived on NCHRP project (3).

Figure 2.8. Variation in  $a_2$  for Cement-Treated Bases with Base Strength Parameter (3)

## ANEXO 7

### PARAMETROS DISEÑO CALZADAS MIXTAS CARRERA 10

Calzada	Abscisas (m)	Sencillo 108 kN	Sencillo 59 kN	Sencillo 49 kN	Tándem 216 kN	Kcomb(87.5%) (Mpa/m)	Kcomb(87.5%) Whitetopping (Mpa/m)
Oriental	K3+352 - K7+051	$2.48 \times 10^6$	$2.02 \times 10^6$	$6.05 \times 10^5$	$1.43 \times 10^5$	68.0	74.0
Occidental	K3+449 - K4+650	$3.66 \times 10^6$	$2.63 \times 10^6$	$1.27 \times 10^6$	$2.33 \times 10^5$	81.0	104.0
Occidental	K4+650 - K7+150	$3.66 \times 10^6$	$2.63 \times 10^6$	$1.27 \times 10^6$	$2.33 \times 10^5$	57.0	64.0

## ANEXO 8

### ESPESORES PAVIMENTO RIGIDO Y FLEXIBLE CARRERA 10

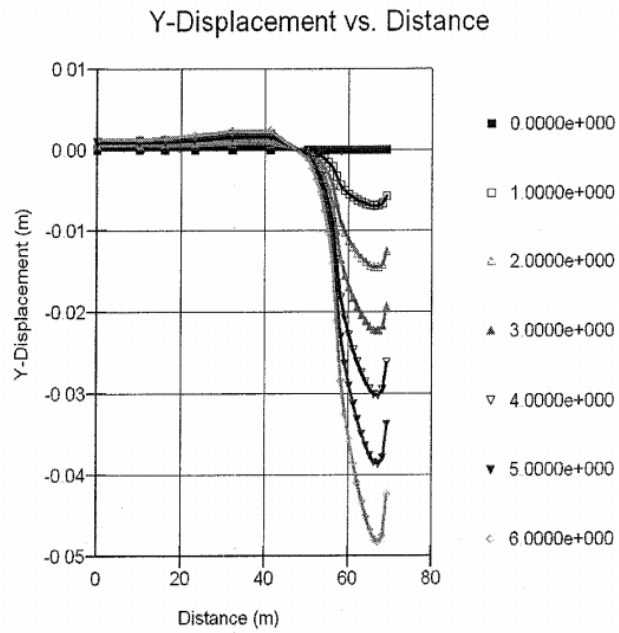
Calzada		Abscisas (m)	Espesor de losa sobre granulares (cm)	Espesor de losa sobre concreto asfáltico (cm)
Calzadas Transmilenio	Oriental	K3+351 - K7+050	32	31
	Occidental	K3+799 - K5+953	31	30
	Occidental	K5+953 - K7+050	32	31
Calzadas Mixtas	Oriental	K3+352 - K7+051	24	23
	Occidental	K3+449 - K4+650	24	23
	Occidental	K4+650 - K7+150	24	23

Calzada	Abscisas	Espesores de Diseño (cm)		
		CA	BGE	Material granular remanente
Oriental Transmilenio	K3+351 - K7+050	27.0	24.0	20.0*
Oriental Mixta	K3+352 - K7+051	14.0	16.0	38.0*
Occidental Mixta	K4+650 - K7+150	14.0	17.0	29.0*
Occidental Transmilenio	K3+799 - K5+953	22.0	24.0	30.0
Occidental Transmilenio	K5+953 - K7+050	22.0	24.0	34.0



## ANEXO 9

### VARIACIÓN DEFORMACIÓN VERTICAL CON LA DISTANCIA A LA EXCAVACIÓN CARRERA 10 Y DEFORMADA ELÁSTICA PARA PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN DE EXCAVACIÓN



**Deformada Elástica para Profundidad de Excavación de 6.0 m Barrete Apuntalado Carga Vertical de 300 kN/ml**

VARIACIÓN DEFORMACIÓN VERTICAL CON LA DISTANCIA A LA EXCAVACIÓN CARRERA 10 Y DEFORMADA ELÁSTICA PARA PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN

