

FACTORES QUE DETERMINAN EL USO DE GEOSINTÉTICOS EN PROYECTOS DE PAVIMENTACIÓN EN COLOMBIA

LUIS ENRIQUE MEJIA FLORES

Ingeniero Civil.
Asistente Graduado Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
e-mail: lui-meji@uniandes.edu.co.
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

SILVIA CARO SPINEL

Ingeniera Civil Universidad de los Andes.
Profesor Instructor
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Investigación en "El Uso de Geosintéticos en Proyectos de Pavimentación en Colombia"
<C:\Users\buenop\AppData\Local\Microsoft\Windows\Revista Publicacion Final I de 2008\Año 2005\Articulos\REVISTA E-MAIL EUCATIVO\INICIO\TABLA CONTENIDO\REVISTA3\INICIO REV 003A.htm>

FACTORES QUE DETERMINAN EL USO DE GEOSINTÉTICOS EN PROYECTOS DE PAVIMENTACIÓN EN COLOMBIA

INTRODUCCIÓN

1. Introducción al uso de geosintéticos

Una de las grandes inquietudes que los arquitectos diseñadores de edificios y los constructores deben resolver al inicio de 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 acertados puesto que, en algunos de los casos, su efecto estabilizador se prolongaba por el tiempo suficiente para hacer de la solución utilizada una costumbre. Estas estructuras semi-sintéticas, constituidas de materiales naturales utilizados como cuerpos extraños para mejorar un medio natural, no

siempre fueron exitosas. De hecho, en ocasiones desmejoraban 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 Colombia 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.

MARCO TEÓRICO

2. Características de los geosintéticos empleados en pavimentación

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 bibliografía 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 en 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 tabla 2.1 resume las principales aplicaciones de los geotextiles, las geomallas, los geobloques y los geodrenes dentro de proyectos de pavimentación.

MATERIAL	FUNCIONES
Geotextiles	<ul style="list-style-type: none">· 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.· 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.· Reducir la formación de huellas y fallas por esfuerzo cortante y asentamientos diferenciales en el pavimento.
Geomallas	<ul style="list-style-type: none">· 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.· Facilitar métodos constructivos por medio de sus facilidades de instalación y su versatilidad.
Geobloques	<ul style="list-style-type: none">· Reducir empuje sobre estructuras de contención: a) amortiguando cargas y b) reduciendo la densidad del relleno.· Absorber deformaciones por efecto de las cargas estáticas y dinámicas en la estructura de pavimento.· Captar y conducir agua intersticial de la estructura dirigiéndola hacia los elementos de conducción superficiales.
Geodrenes	<ul style="list-style-type: none">· Captar fluidos a grandes profundidades.

Tabla 2.1. Uso de los geosintéticos en proyectos de pavimentación (Koerner, 1997; Tensar, 2002)

La Tabla 2.1 permite observar que las geomallas cumplen funciones similares a las de los geotextiles. Sin embargo, la elección del geomaterial que proporcione mejores condiciones de trabajo debe ser el resultado de comparar la funcionalidad y el precio de cada producto para las condiciones particulares de un proyecto. La Tabla 2.2 muestra algunas condiciones comparativas entre los dos materiales y se constituye en una ayuda para el criterio de decisión

de los usuarios, sugiriendo que el grado de competencia óptimo entre estos dos materiales se encuentra en su aplicación en terrenos cuya capacidad portante se encuentre en un rango de CBR del 3% al 5%.

Material	CBR (para uso óptimo)		Promedio \$/m ²	Función adicional
	Mayor que	Menor que		
Geotextil	3%	5%	2.400	Separación / Filtración / Drenaje
Geomalla	1%	5%	4.545	Maniobrabilidad de maquinaria / trabazón de agregados

3. Uso de geosintéticos en el mundo

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

Comparar el porcentaje de proyectos de pavimentación en el mundo en los cuales se encuentra el uso de geosintéticos es una labor verdaderamente compleja. En todos los países en donde se encuentra difundido su uso, una cantidad cercana al 90% de las obras viales emplea algún tipo de geosintético para mejorar las condiciones de obra; ya sea reduciendo costos, mejorando especificaciones técnicas o solucionando inconvenientes presentados por los materiales naturales. Es evidente que este porcentaje depende significativamente del tipo de proyectos construidos y el grado de penetración de la tecnología de los geosintéticos en la ingeniería local.

Por ejemplo, la Figura 3.1, muestra el uso de los principales geosintéticos en Estados Unidos y Canadá desde los años 70 y la Figura 3.2 permite comparar la forma como se han percibido ingresos por concepto del mercado de los mismos. En ambos casos se constata la importante incursión de los geosintéticos en el mercado de la ingeniería.

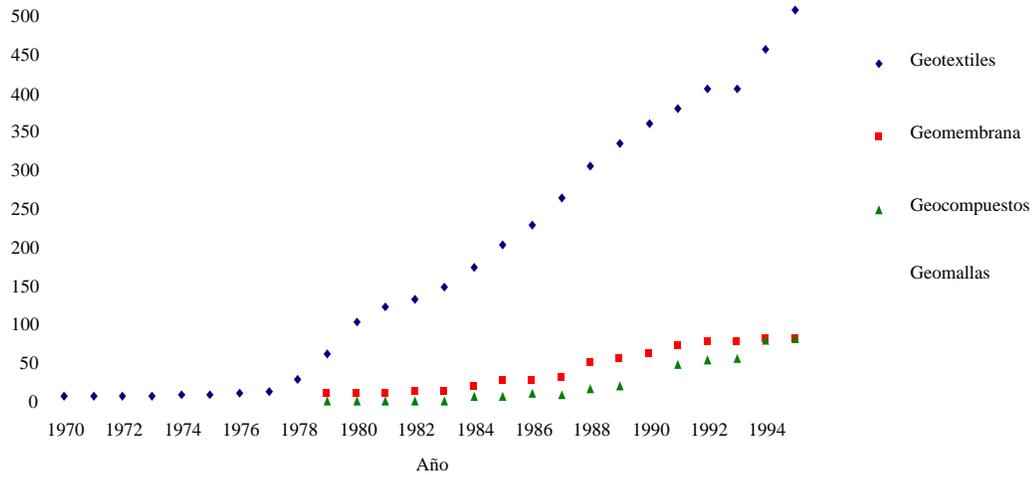


Figura 3.3. Distribución del mercado internacional de los geotextiles (FAO, 2001).

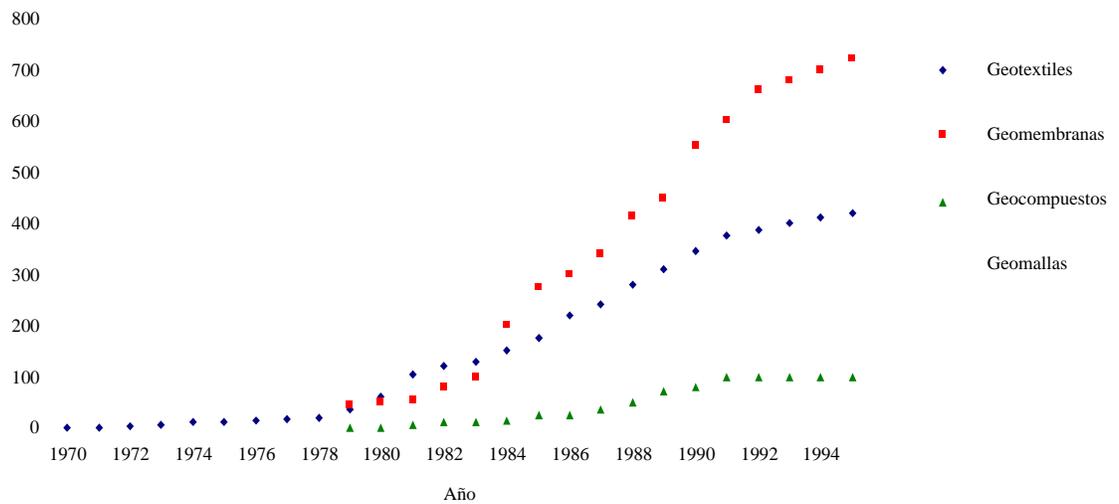


Figura 3.4. Crecimiento del mercado de los geotextiles en el mundo (FAO, 2001).

En cuanto a la aplicación específica en proyectos de pavimentación, la Figura 3.5 (FAO,2001) permite afirmar que (en área) cerca del 80% del uso de geotextiles en el mundo se encuentra relacionado con aplicaciones en este campo, lo que corresponde, en cifras del año 2000, a 1.120 millones de metros cuadrados en todo el mundo.

3.1 Geotextiles

Por efecto de la industrialización, el mejoramiento en los procesos de producción y su uso masivo, el mercado de geotextiles ha experimentado un crecimiento difícilmente igualado por

otro producto en el ámbito de la construcción. Las estadísticas demuestran que los geotextiles, por sus múltiples aplicaciones, son los geosintéticos más producidos y comercializados en el mundo, alcanzando un crecimiento cercano al 500% en 20 años (Figura 3.3). Por ejemplo, en 1990 Norte América usó aproximadamente 300 millones de metros cuadrados de geotextil y en el mundo entero se usaron aproximadamente 650 millones de metros cuadrados (Koerner, 1997; FAO, 2001). Un mercado de proporciones similares en Europa y Norte América, que con gran esfuerzo se deja penetrar por algunos países asiáticos como Japón y el resto del mundo (Figura 3.4), hace evidente la utilización de estos materiales en países desarrollados con infraestructura de alta calidad y por consiguiente, sugiere la existencia no sólo de grandes exigencias en el área sino de un nivel de conocimiento de gran magnitud propio de la experiencia.

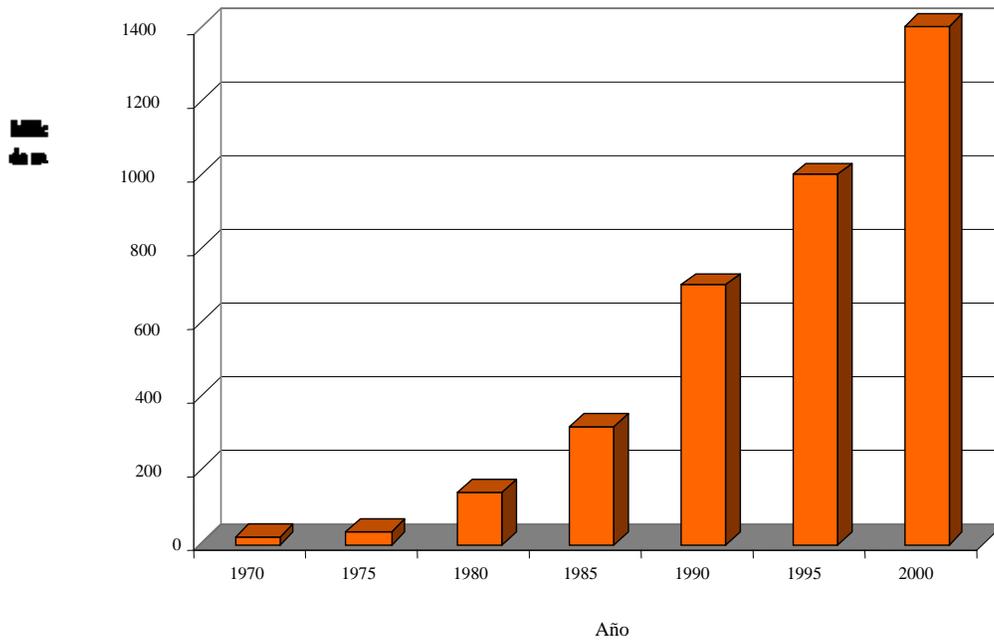


Figura 3.3. Distribución del mercado internacional de los geotextiles (FAO, 2001).

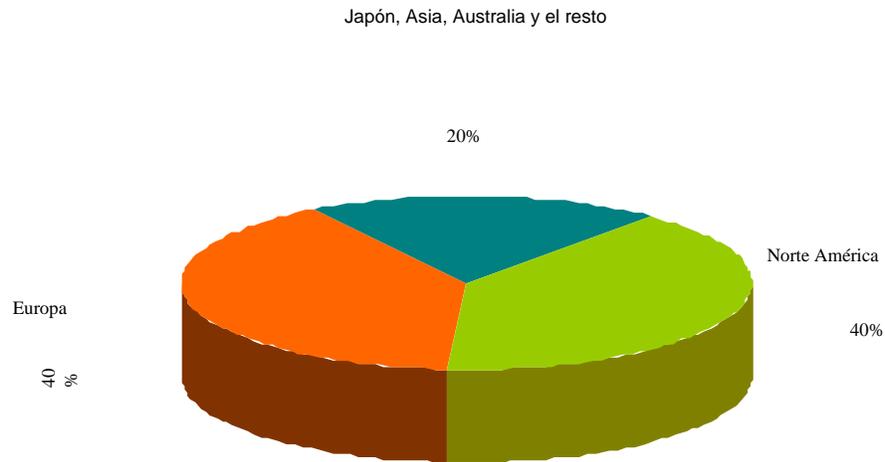


Figura 3.4. Crecimiento del mercado de los geotextiles en el mundo (FAO, 2001).

En cuanto a la aplicación específica en proyectos de pavimentación, la Figura 3.5 (FAO,2001) permite afirmar que (en área) cerca del 80% del uso de geotextiles en el mundo se encuentra relacionado con aplicaciones en este campo, lo que corresponde, en cifras del año 2000, a 1.120 millones de metros cuadrados en todo el mundo.

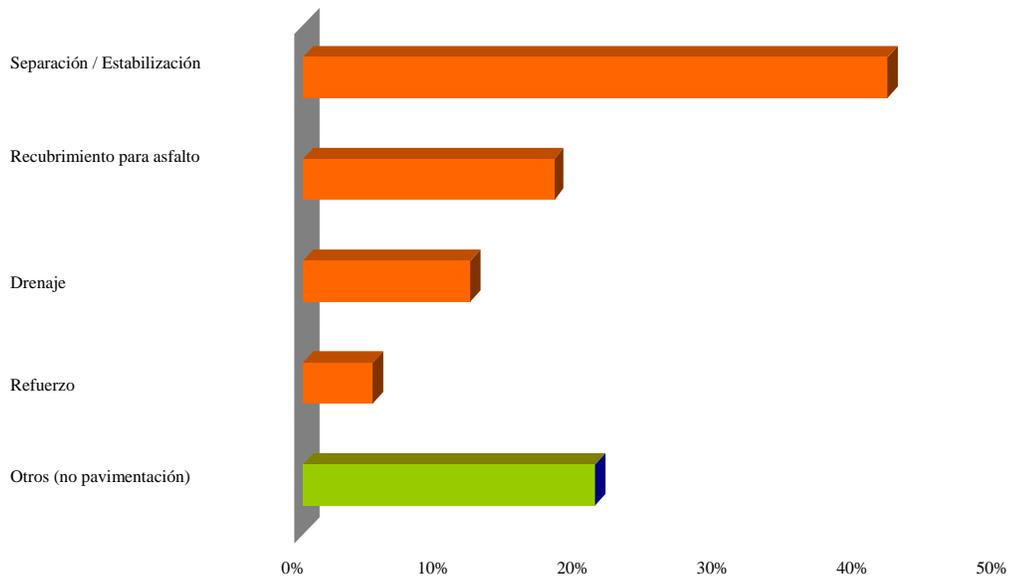


Figura 3.5. Uso de los geotextiles en proyectos de pavimentación en el mundo (FAO, 2001).

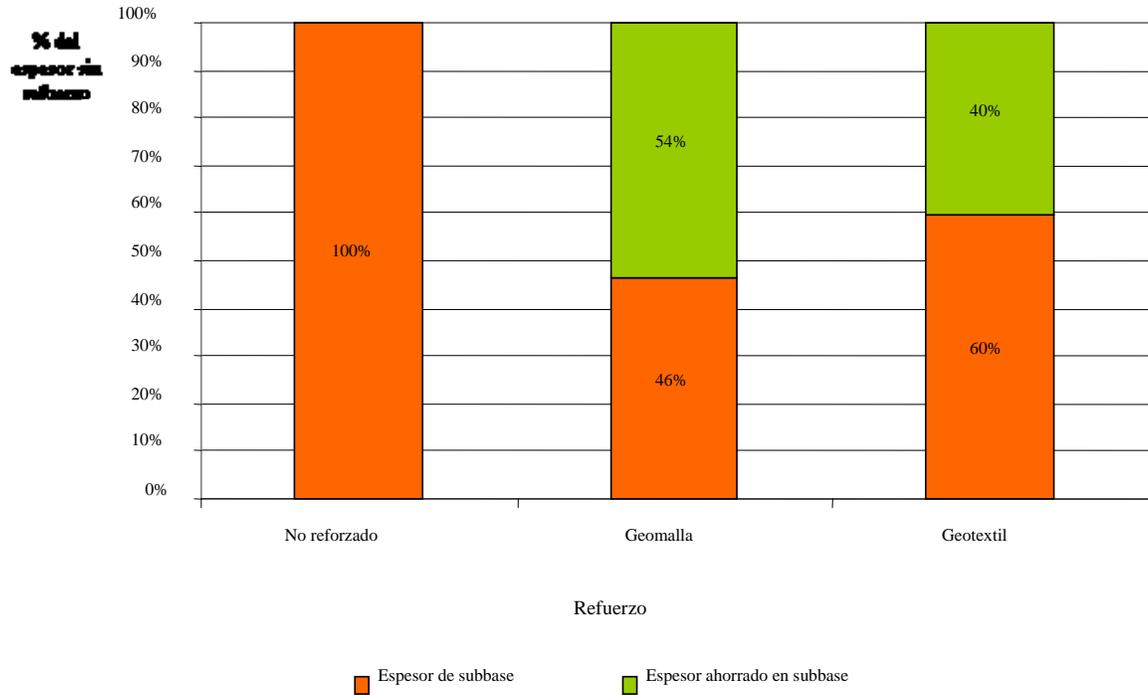
3.2 Geomallas

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 (Tabla 2.2), 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 m² en estructuras de refuerzo en su país y que para 1987 el 50% 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 (Figura 3.6.). 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.



3.3 Geobloques

El uso de geobloques no se ha desarrollado significativamente en el mundo, salvo por excepciones como Japón y Noruega en quienes se encuentra concentrado cerca del 80% del uso del producto a nivel internacional (Figura 3.7). Inicialmente, con un significativo pero no tan apreciable uso en Europa, Asia y Norte América, se experimentó con estos bloques obteniendo resultados satisfactorios en aplicaciones de aislamiento térmico, relleno ligero e inclusión compresible (Frydenlund, 1996). Países como Francia, Holanda, Suecia, Finlandia, el Reino Unido, Irlanda, Alemania, España, Canadá, Filipinas, Corea del sur, Malasia y Tailandia, pueden dar fe de la confiabilidad del material gracias a los resultados de numerosas experiencias.

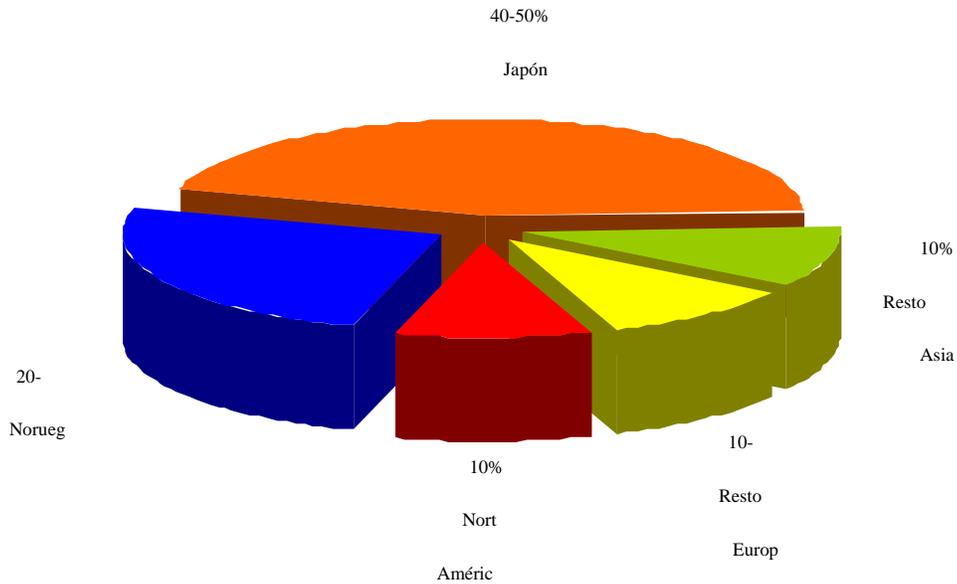


Figura 3.7. Distribución del mercado mundial de geobloques de EPS (Frydenlund, 1996).

El pionero en uso de geobloques en el mundo fue Noruega. Desde hace más de 24 años, en ese país se han desarrollado cerca de 300 proyectos viales de gran magnitud en los que se han utilizado más de 400.000m³ de geobloques de EPS. Holanda, en 1988, en un solo proyecto usó 35.000 m³ de EPS para la construcción de un terraplén para una vía de alto tráfico. Posteriormente, a principios de la década de los 90 este material empezó a usarse para la construcción de vías en los terrenos montañosos Japoneses pues se amoldaba idealmente a sus difíciles condiciones topográficas, logrando que el 34% de los geobloques usados en Japón lo sea en usos relacionados con pavimentación (Polióles, 1993). Para Noruega el mercado es distinto, siendo el segundo país en uso del material alrededor del mundo, un cuarto de siglo después de la entrada de los geobloques en él, tan sólo el 10% de la producción de bloques de EPS se usa en pavimentación (Polióles, 1993).

Los geobloques de EPS son un material costoso en comparación con otros materiales de relleno, pero funcionales en cuanto a instalación, ajuste geométrico y eficiencia constructiva. Precisamente por su alto costo, son de difícil penetración en mercados poco desarrollados como Sur y Centro América.

3.4 Geodrenes

El principal uso de los geodrenes -del grupo genérico de los geocompuestos, por tratarse de la conjugación de dos geosintéticos- es en el control de situaciones de drenaje planar dentro de estructuras de pavimentación. Junto con otros geocompuestos compartió el tercer lugar en uso en Norte América en la década de los 90's contando con cerca de 50 millones de m² instalados en todo el mundo, correspondientes comparativamente a no más del 15% del uso de geotextiles en la misma época. Actualmente se puede estimar que el anterior porcentaje se

encuentra en 20%, fruto de su uso en grandes extensiones en drenajes de carreteras, rellenos y terraplenes (Polioles, 1991, 1993; Fryndenlund, 1996; Hovarth, 1995).

El desarrollo de geosintéticos a nivel internacional ha obedecido principalmente a dos factores: a) la necesidad de modificar los materiales naturales para imprimirles condiciones más favorables a los diseños y b) la creciente verificación de las propiedades de mejoramiento que tienen estos materiales. Desde una perspectiva general se podría afirmar que sólo es posible evolucionar tecnológicamente por medio de la inversión en investigación y desarrollo. El caso de los geosintéticos no es la excepción. Gracias a los organismos de control dedicados a probar y reglamentar el uso de estos productos, su uso se masifica para el beneficio común. Muchos autores se atreven a asegurar que el crecimiento futuro en el uso de geosintéticos mundialmente seguirá aumentando de una forma nunca antes vista desde la época del concreto reforzado como producto de vanguardia (Koerner, 1997).

METODOLOGÍA

4. Uso de geosintéticos en Colombia

Los geosintéticos se han empleado en Colombia desde principios de la década de los 80's. Su uso actual en proyectos de pavimentación es masivo y las experiencias obtenidas a través del tiempo con estos novedosos materiales han demostrado sus bondades y sus limitaciones dentro del ambiente colombiano.

Un estudio del mercado de geosintéticos en el país permite concluir que en Colombia existe una oferta suficiente de estos materiales. Algunas empresas nacionales han apostado a la fabricación y comercialización de geosintéticos de muy alta calidad (Tabla 4.1). En cuanto al comercio internacional de estos productos, se puede mencionar a PAVCO, que importa geomembranas de Chile y geomallas de Italia y a la vez exporta a algunos países de Latinoamérica, en los cuales se encuentra posicionado en los primeros lugares del mercado. Otros ejemplos los constituyen Geosintec y Geofort destacados importadores y representantes de distintas marcas de geomallas estadounidenses.

Tabla 4.1. Principales productores de geosintéticos en el país.

Material	Empresa
Geotextiles	· PAVCO
	· LaFayette
	· Niver
	· Compañía de Empaques de Medellín
Geomallas	· LaFayette
Geomembranas	· Sintéticos Filmtex
	· Proquinal
Geodrenes	· PAVCO

La experiencia colombiana en el sector de la infraestructura vial ha permitido establecer que más del 85% de los proyectos de pavimentación que se han desarrollado entre los últimos 5 a

10 años han usado algún tipo de geosintético para mejorar las condiciones de los suelos locales. Sin embargo, la experiencia del gremio comercializador y del constructor también establece que la mayoría de las aplicaciones de los geosintéticos en proyectos de pavimentación en Colombia se hacen de manera mecánica y sin un juicio sobre un diseño consistente. Es importante considerar que, en general, la prioridad del criterio comercial sobre el criterio técnico conlleva al tratamiento de los geosintéticos como productos y no como materiales, limitando la decisión de su aplicación por el aspecto económico y no funcional y técnico.

Para garantizar la rentabilidad y calidad de los proyectos de pavimentación que utilizan geosintéticos, es necesario que los ingenieros colombianos tengan el criterio, la preparación y el asesoramiento suficientes para decidir cuál es el diseño óptimo dentro de un rango de posibilidades. En este sentido, las metodologías de diseño (por costo, por especificación o por función (Koerner, 1997)), son las herramientas con las que cuenta el ingeniero para determinar el geosintético que mejor se adapta a las condiciones particulares de un proyecto; es decir, aquel que equilibra todas las alternativas proporcionando el máximo de beneficio.

4.1 Geotextiles

La Figura 4.1 muestra un estimativo del uso de los geosintéticos en Colombia en todas las aplicaciones y permite ver cómo las geomembranas entran a formar una parte importante del mercado, pues son ampliamente utilizadas en impermeabilización, rellenos sanitarios, conducción de fluidos, etc. Para el área de pavimentación se encuentra que los geotextiles son, sin duda, el geosintético más vendido y las geomembranas el menos utilizado. Con respecto a los productores, PAVCO S.A. produce el 75% de los geotextiles que se encuentran en el mercado (Figura 4.2); haciéndolo a precios realmente competitivos con los productos internacionales.

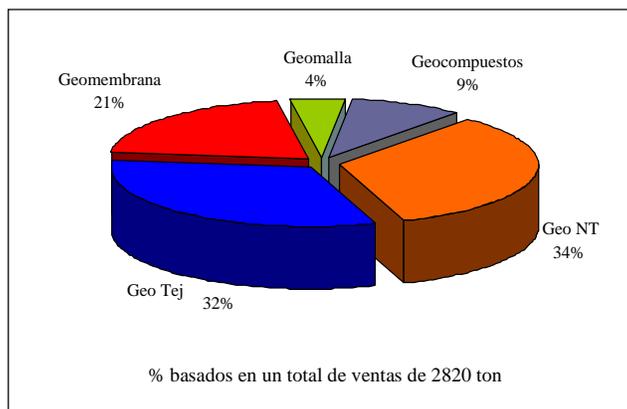


Figura 4.1. Uso de geosintéticos en Colombia 2002 (PAVCO, 2003).

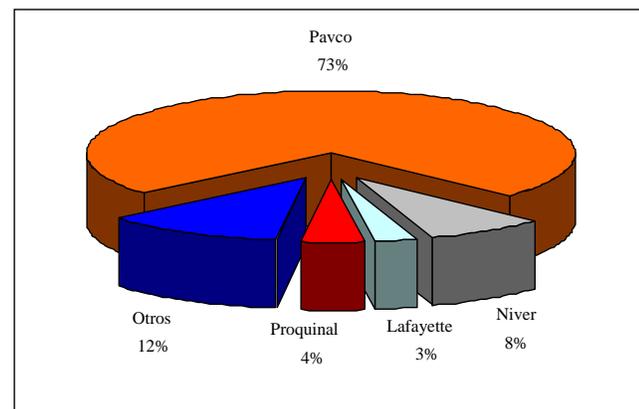


Figura 4.2. Uso de geosintéticos en Colombia 2002 (PAVCO, 2003).

La eficiencia de los refuerzos con geotextil ha sido comprobada en todo el territorio colombiano y su uso se ha difundido rápidamente. Esto se ha logrado tras cientos de experiencias en las cuales se han evaluado diferentes alternativas de diseño y los geotextiles han resultado ser la opción más funcional o en su defecto la más económica.

4.2 Geomallas

En cuanto a las geomallas, la investigación permitió concluir que el mercado colombiano relacionado con este producto es relativamente reciente y en la actualidad se importan, producen y comercializan al interior. El uso de geomallas en Colombia, en ventas, mantuvo un crecimiento constante desde su entrada al país (aproximadamente en 1990) hasta el año 2000. A partir de este momento el crecimiento ha empezado a disminuir y se pueden plantear varias hipótesis al respecto. En primer lugar la disminución se puede deber a la aceptación del producto nacional por parte de los diseñadores, restándole participación en el mercado a los productos importados (la Tabla 4.2 y la Figura 4.3. presentan la comparación en precio de geomallas nacionales e importadas) y, en segundo lugar, a la situación económica del país y la decreciente inversión en infraestructura.

Tabla 4.3. Comparación en precio geomallas nacionales e importadas (LaFayette, 2002; Geosintec,

Origen	Precio (\$/m ²)	
	Menor especificación	Mayor especificación
Nacional	3.695	5.395
Importada	5.230	9.532

Producto Nacional Vs. Importado

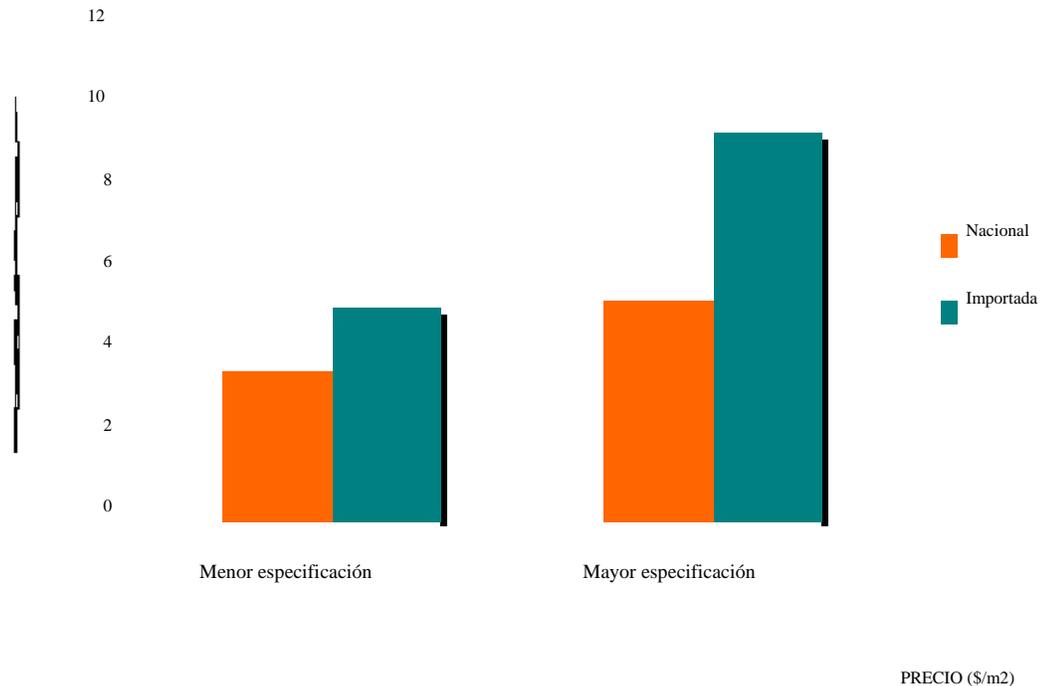


Figura 4.3. Comparación gráfica en precio para geomallas nacionales e importadas (LaFayette, 2002; Geosintec, 2002)

4.3 Geobloques

El uso de geobloques en Colombia es aún restringido. La explicación en este caso es más económica que técnica: mientras que un metro cúbico de relleno convencional puede costar aproximadamente \$15.000, el mismo volumen de EPS puede llegar a costar \$120.000 (ocho veces más, según estimaciones de las comercializadoras nacionales). No obstante, no se debe dejar de lado la reflexión anteriormente propuesta de evaluar los geosintéticos en su entorno global de manera que se tengan en cuenta todas las mejoras y deficiencias presentadas por las alternativas de diseño.

4.4 Geodrenes

El uso de geodrenes en Colombia está atado a la comercialización de la empresa productora de geosintéticos más fuerte del mercado, PAVCO S.A. El impulso comercial que esta les confiere ha hecho que sean utilizados en un número significativo de proyectos. No obstante, la falta de criterios y tecnologías para el diseño de estructuras de drenaje ha generado que este importantísimo componente de las estructuras de pavimentación, sea menospreciado. En la literatura se encuentra un gran número de investigaciones sobre el daño que produce el agua

libre en el pavimento (Caro y García, 2001; Loradi et al, 1998; Robertson y Birgisson, 1998, Alonso, 1998; Cañete, 200). Sin embargo, la cultura del drenaje en Colombia consiste en la instalación de sistemas de subdrenaje tipo francés, a 1.5 m de profundidad; lo que demuestra el atraso de la ingeniería de vías en materia de control del agua y preservación de las estructuras.

En términos generales, es importante plantear interrogantes con miras a evaluar las razones que hacen técnicamente posible y comercialmente deseable el empleo de geosintéticos en proyectos de pavimentación (y geotécnicos de todo tipo) en el país. Un interés comercial (más que ingenieril), por parte de las industrias productoras, se ha encargado de lograr su aceptación por parte de importantes firmas de ingenieros, aunque otros diseñadores aún los consideran como un espejismo comercial, desvirtuando toda posibilidad de uso en sus obras. Ninguna de las dos posiciones es del todo acertada. Sólo a través de investigación y experimentación por parte de los productores y constructores, se pueden alcanzar metodologías de uso que respondan eficazmente a las condiciones desfavorables de los suelos colombianos.

Cabe mencionar que el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), preocupado por la regularización del mercado, publicó en junio 27 de 2002 sus especificaciones para la normalización de los materiales geosintéticos basadas en las condiciones propuestas por la AASHTO en 1998. Este hecho no sólo ratifica la importancia que tienen estos materiales en el entorno nacional, sino que se debe entender como un reconocimiento estatal a la necesidad de estudiar y adaptar su uso dentro de las condiciones locales del país.

RESULTADOS A DISCUSIÓN

5. Comparación del uso de los geosintéticos en Colombia dentro del contexto mundial

5.1 Aplicación de los geosintéticos en proyectos de pavimentación

- El uso de geosintéticos en el ámbito internacional se desarrolló desde la década de los 70s, en Colombia 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 Colombia 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 Colombia, contrario a lo que ocurre en el resto del mundo pues esta práctica se considera importantísima para evitar la aparición de grietas por reflexión producto 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 Colombia. La empresa nacional se ha encargado de producir los materiales masivamente solicitados por el mercado (por su calidad) y esto prueba que tiene 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.

5.2 Diseño de geosintéticos

- La búsqueda de información referente al uso de los geosintéticos en Colombia 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 no sólo no son acordes con los avances en investigación respecto al tema 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.

5.3 Condiciones del mercado

- En el ámbito mundial el mercado de los geosintéticos se encuentra gobernado por los comercializadores que hacen ver sus 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 Colombia el comportamiento de las comercializadoras es igual, con el agravante de que existe un mercado poco conocedor de las características técnicas para el diseño y una falta de instituciones reguladoras.
- La producción colombiana 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.

6. Acciones para mejorar el uso de geosintéticos en Colombia

Con el objetivo de mejorar las condiciones que determinan el uso de los geosintéticos en ingeniería de pavimentos, se sugieren algunos procedimientos que establecen líneas de investigación y propician la difusión de la tecnología de los geosintéticos en Colombia.

- **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 lo 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 se 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 colombiano.
- 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 les 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.

CONCLUSIONES

La diferencia significativa en el uso de los materiales geosintéticos en el mundo con respecto a Colombia 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. PAVCO S.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 en torno 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 a

lo específicos que pueden llegar a ser para cada 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.

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.

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

Loradi, N. (1998). Influence de l'état hydrique sur le comportement des materieux compactes. 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, Soluciones de Ingeniería. 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, Colombia.
- PAVCO (2002). Especificaciones Técnicas: Geotextiles Tejidos y No tejidos y geodren planar con y sin tubería. Bogotá, Colombia.
- Polióles (1991). El Styropor y su impacto en el medio ambiente. México D. F., México.
- Robertson, R; Birgisson, B. (1998). Evaluation of water flow through pavement systems. Simposio internacional sobre drenaje interno de firmas y explanadas. Granada, España.
- TENSAR (1996). Base Reinforcement, Instalation Guide. Georgia, USA.
- TENSAR (2002). Spectra, Sistemas de Pavimentación. Georgia, USA.