

# TRABAJO MECÁNICO DE LOS GEOSINTÉTICOS COMO REFUERZO DE PAVIMENTOS

Ing. Paulina Leiva Padilla e Ing. Luis Guillermo Loria Salazar

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica,  
400 metros norte Muñoz y Nanne, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica  
Tel: (506) 2511-2500 / 2511-2524  
[paulina.leivapadilla@ucr.ac.cr](mailto:paulina.leivapadilla@ucr.ac.cr), [luis.loriasalazar@ucr.ac.cr](mailto:luis.loriasalazar@ucr.ac.cr)

## Introducción

En los últimos años en la ingeniería de pavimentos, se han buscado técnicas que promuevan la conservación de la calidad de los mismos, reduciendo los costos de construcción asociados.

La colocación de materiales geosintéticos es una metodología que por medio de refuerzo estructural, reduce los espesores de material necesarios para que el pavimento resista las cargas asociadas al tránsito.

La primera de las teorías propuestas para diseño de estructuras con estos elementos, fue la definida por Giroud y Noiray en 1981 ante la ASCE; sin embargo, esta teoría propone una serie de supuestos que es necesario mejorar, como por ejemplo que la deformación del geosintético consiste de una serie de parábolas que se deforman por encima del nivel original del suelo de subrasante, que la carga es idealizada como una placa cuadrada, donde el mecanismo de falla del suelo es por capacidad portante y que su principal aporte es por un efecto de membrana.

La presente investigación muestra los resultados del análisis de la mecánica involucrada en la colocación de elementos geosintéticos en pavimentos, considerando los elementos anteriormente mencionados, para este objetivo, fue utilizado un programa de elementos finitos, debido a la capacidad que tienen este tipo de programas en la incorporación de elementos adicionales necesarios como lo son los geosintéticos.

Esta, se ha definido como la primera parte de las investigaciones desarrolladas en la línea de investigación en geosintéticos, que ha sido propuesta por la Unidad de Materiales y Pavimentos del Programa de Infraestructura del Transporte, perteneciente al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica.

## Objetivos

### Objetivo general

Analizar el trabajo mecánico desarrollado por geosintéticos al ser utilizados como refuerzo en pavimentos flexibles.

## Funciones de los geosintéticos

Según el Manual de diseño y construcción con geosintéticos, de la Administración Federal de Carretas (FHWA, por sus siglas en inglés), los geosintéticos desarrollan seis principales funciones: filtración, drenaje, separación, reforzamiento, barrera y protección (Holtz, 1998).

Las funciones más comúnmente utilizadas para referirse a los mecanismos desarrollados por los geosintéticos en este tipo de proyectos son: la separación y el refuerzo.

### Separación:

Durante el proceso de construcción o la vida de servicio del pavimento, la capa granular de la subbase, al estar en contacto directo con el suelo de subrasante, puede sufrir un proceso de contaminación, reduciéndose por tanto: su resistencia, rigidez y capacidad de drenaje; en este sentido, materiales geosintéticos como los geotextiles son elementos que se han utilizado para reducir o evitar el impacto del problema anterior, que finalmente reduce la capacidad estructural del pavimento (Ver Figura 1).

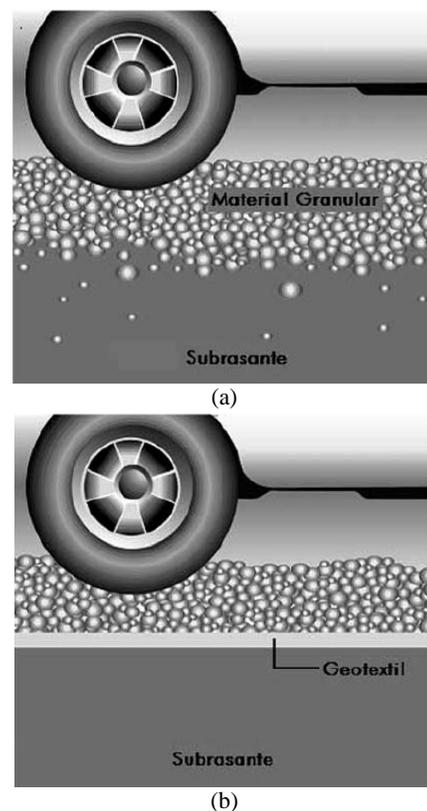


Figura 1.- Función de separación condición: (a) sin geosintético y (b) con geosintético (PAVCO, 2006)

### Refuerzo:

Dentro de la variedad de materiales geosintéticos disponibles en el mercado, las geomallas y los geotextiles tejidos son los materiales que, al ser colocados en el intermedio de las capas

granulares o entre estas y la subrasante, proveen refuerzo a las estructuras de pavimentos a través de tres posibles mecanismos (Holtz, 1998) y (Pérez y Alzamora, 2010):

**Restricción lateral de la base y la subbase:** este mecanismo ocurre por el efecto del confinamiento lateral que se genera a través de fricción (para el caso de geotextiles) y trabazón (para el caso de las geomallas) entre agregado y suelo en contacto con el geosintético (Figura 2).

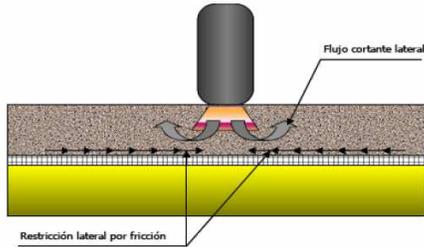


Figura 2.- Restricción lateral (Caballeros Torres, 2006)

Estudios realizados en campo han demostrado que, la distribución del aporte por confinamiento con respecto a la profundidad tiene la forma que se muestra en la Figura 3 (Spectra, 2009).

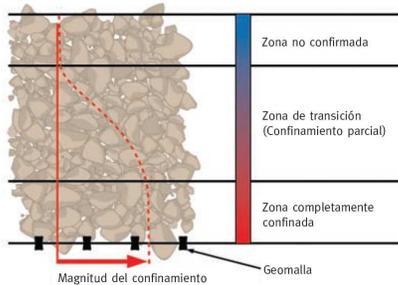


Figura 3.- Confinamiento del agregado dentro de una capa granular (Spectra, 2009)

**Incremento en la capacidad de soporte:** al colocar el geosintético entre la capa granular y el suelo de subrasante, las tensiones de corte que se desarrollan entre el agregado y el geosintético se incrementan en la parte más baja de la capa granular, generando un aumento en la capacidad estructural de esta capa y reduciendo las deformaciones verticales (Ver Figura 4).

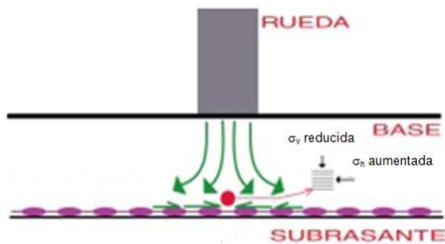


Figura 4.- Incremento en la capacidad de soporte (Pérez y Alzamora, 2010)

**Efecto de membrana tensionada:** la aplicación de las cargas de tránsito da lugar a la generación de surcos en el suelo de

subrasante, que provocan la deformación necesaria al geosintético para el desarrollo del mecanismo de tensión por el cual trabaja.

La componente vertical de esta tensión genera una resistencia hacia arriba -contrario a la carga de la llanta- y un confinamiento hacia abajo de la subrasante -que es lo que se conoce como soporte de membrana- reduce la tensión vertical aplicada a la subrasante (Figura 5).

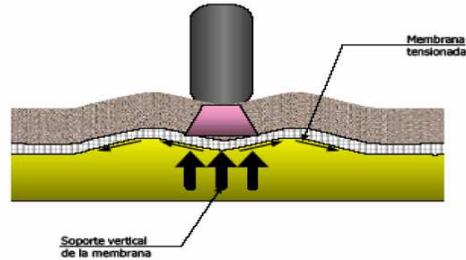


Figura 5.- Efecto de membrana (Caballeros Torres, 2006)

## Materiales y Métodos

Para esta investigación, se utilizó modelación con elemento finito por medio de programa ABAQUS.

El modelo desarrollado consiste en una estructura axisimétrica de dos capas, una de un estrato equivalente a las capas colocadas sobre la otra que corresponde a la subrasante. Las propiedades de los materiales de la estructura se encuentran definidas dentro de los rangos establecidos en la Tabla 1 y Tabla 2.

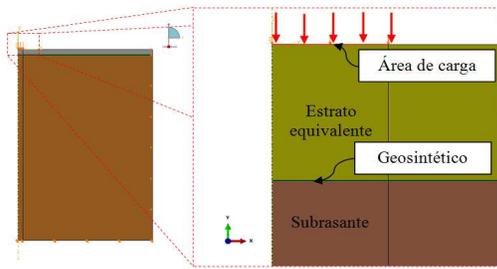
Tabla 1.- Parámetros empleados en el sistema de dos capas

Capa	Razón de Poisson	MRmin (MPa)	MRmax (MPa)	hmin (cm)	hmax (cm)
Estrato equivalente	0,40	100	4000	15	100
Subrasante	0,45	10	30	infinito	infinito

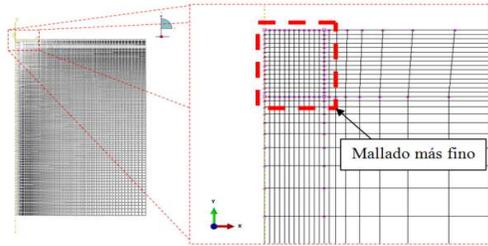
Tabla 2.- Propiedades de los materiales geosintéticos

Geosintético	Consistencia	Resistencia @ 5% de resistencia	E (MPa) asumiendo t=0.00254m
Geotextil	Rígido	400	3150
	Medio	200	1575
	Suave	5.3	42
Geomalla	Rígido	537	4230
	Medio	250	1970
	Suave	4.4	35

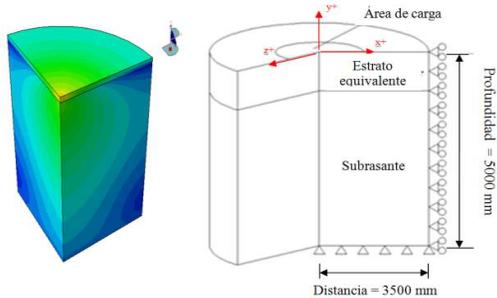
Se utilizó una carga de 40 kN, traducida en una presión de inflado de 827 kPa (120 psi), sobre un área circular de 12.4 cm de radio. Las condiciones en la frontera restringen el movimiento en la dirección y y x para el borde inferior y, en la dirección x para el borde sin simetría, a una distancia suficientemente adecuada para disipar los esfuerzos, simulando de esta manera las condiciones de borde reales. Se definieron 15238 nodos y 14504 elementos asociados (Figura 6).



(a)



(b)

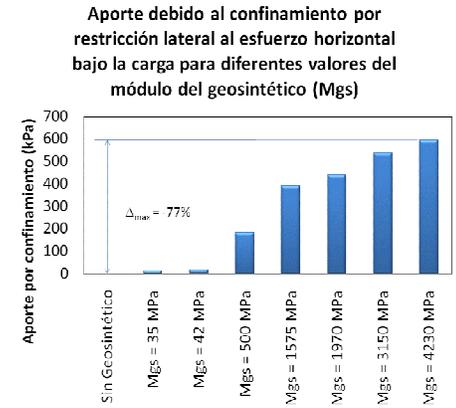
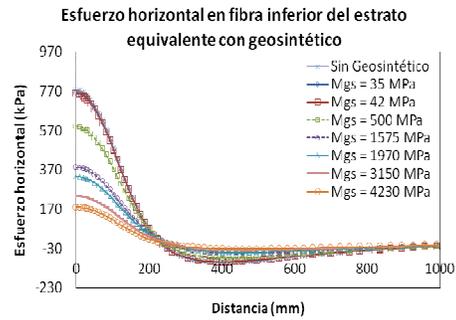


(c)

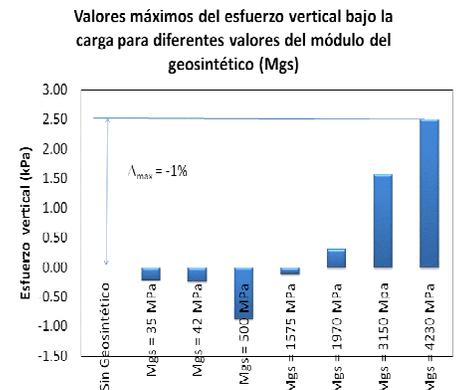
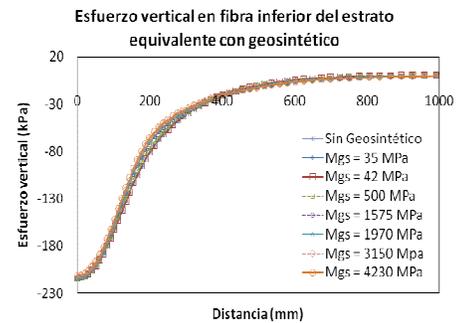
**Figura 6.-** Definición del modelo en ABAQUS, (a) condiciones de carga, frontera y distribución de los materiales, (b) mallado y (c) esfuerzos de Von Mises de una de las corridas y convención de ejes utilizada

### Evaluación de resultados

Primeramente se analizaron los esfuerzos en la fibra inferior de la capa equivalente, los resultados se muestran en la Figura 7 y Figura 8.



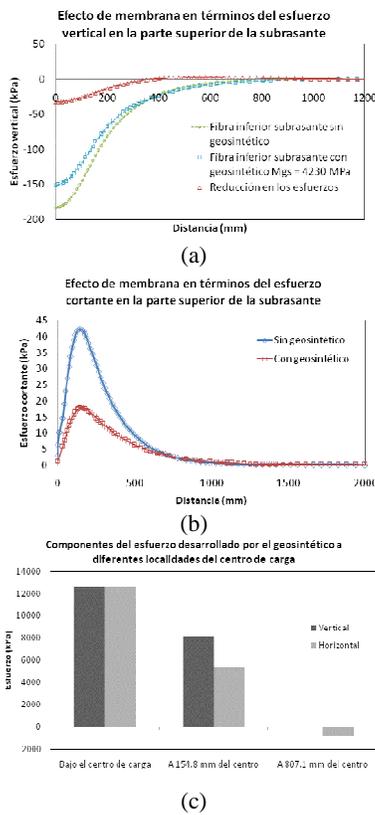
**Figura 7.-** Esfuerzos horizontales y aporte al confinamiento por restricción lateral en la fibra inferior del estrato equivalente ante modulo variable del geosintético



**Figura 8.-** Esfuerzos verticales y sus correspondientes valores máximos bajo la carga en la fibra inferior del estrato equivalente ante su valor de modulo variable

Los resultados anteriores muestran que los esfuerzos desarrollados en el estrato equivalente por la colocación de un elemento geosintético, se reducen con mayor diferencia en la componente horizontal que en la vertical, contrario a lo que la teoría de Giroud y Noiray propone para la distribución de los esfuerzos, afirmando de esta forma que estas teorías no son lo suficientemente apropiadas para diseño y como ha sido ya mencionado por otros autores, que deben mejorarse. En este sentido ya se han hecho algunos esfuerzos, sin embargo, no existe una metodología que universalmente haya sido reconocida y que contemple los resultados expuestos en la presente investigación.

Con la finalidad de estudiar más afondo el mecanismo de membrana, se estudiaron los esfuerzos en la fibra superior de la capa de subrasante, la Figura 9 muestra los esfuerzos verticales, de cortante y a diferentes localidades del centro de carga.

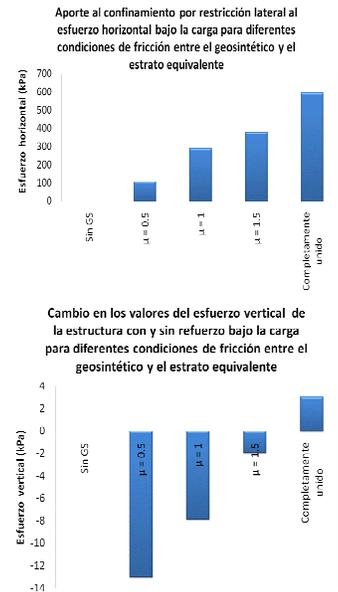


**Figura 9.-** Distribución de los esfuerzos (a) verticales, (b) cortantes, en la fibra superior de la subrasante para las condiciones con y sin reforzamiento, y (c) componentes del esfuerzo desarrollado en el geosintético a diferentes distancias de la carga ( $h=15\text{cm}$ ,  $M_{Reeq}=100\text{MPa}$ ,  $M_{gs} 4230\text{MPa}$ )

De la gráfica anterior, es posible contemplar que predomina la componente vertical y de cortante que llegan a la subrasante, lo que demuestra que no puede ser excluido un mecanismo del otro en el desarrollo de mejores metodologías de diseño de pavimentos con este tipo de elementos.

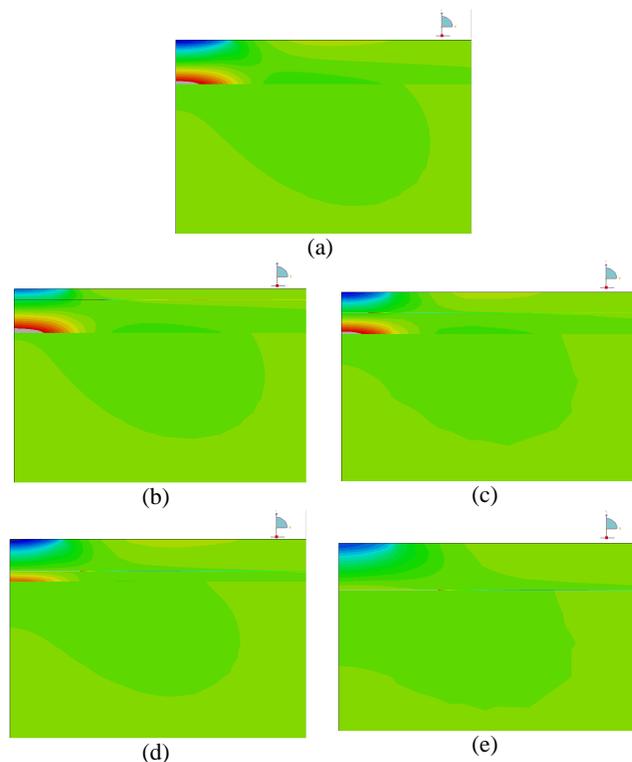
Seguidamente, se analizó la sensibilidad con respecto a variaciones en la fricción entre la capa de material de subrasante y el geosintético. La Figura 10 muestra que es importante el desarrollo de técnicas constructivas apropiadas

que garanticen la transmisión de esfuerzos necesaria para que el geosintético trabaje a su máxima capacidad.

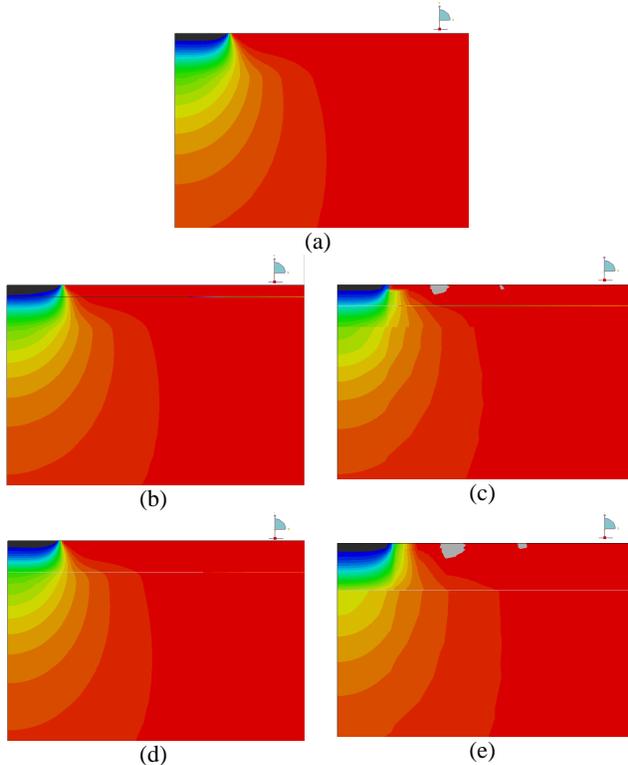


**Figura 10.-** Aporte al confinamiento por restricción lateral y cambio en el esfuerzo vertical con respecto a la condición sin refuerzo en el estrato equivalente para distintos coeficientes de fricción

Finalmente, las Figuras 11 y 12, exponen la distribución de los esfuerzos verticales y horizontales, que se obtienen al colocar el material geosintético en distintas localidades del estrato equivalente.



**Figura 11.-** Esfuerzos horizontales desarrollados en la estructura (a) sin geosintético, con geosintético en (a) el primer cuarto, (c) la mitad, (d) el tercer cuarto y (d) al final del estrato equivalente de la estructura



**Figura 12.-** Esfuerzos verticales desarrollados en la estructura (a) sin geosintético, con geosintético en (a) el primer cuarto, (c) la mitad, (d) el tercer cuarto y (e) al final del estrato equivalente de la estructura

Las Figuras anteriores revelan que los aportes más considerables por parte del geosintético se dan a colocarlo en la interfaz subrasante-estrato equivalente en este caso, y sobre la primera mitad de la capa granular; sin embargo, por las simplificaciones realizadas en este caso, es necesario el desarrollo de investigaciones adicionales –en modelación y desarrollo de ensayos- que permitan respaldar los resultados obtenidos.

## Conclusiones y recomendaciones

Seguidamente se mencionan algunas de las conclusiones y recomendaciones que surgieron de los resultados de la investigación.

- La componente horizontal en la distribución de esfuerzos en la capa granular es la que predomina en el trabajo de geosintéticos en pavimentos, contrario a lo establecido por varias teorías tradicionales de diseño como la Giroud y Noiray.
- Es importante la utilización de técnicas de construcción que resguarden la fricción entre el elemento geosintético y las capas adyacentes, para procurar el mayor aprovechamiento de su trabajo mecánico.
- La colocación de elementos geosintéticos provoca un incremento en el módulo de la capa granular y por ende las propiedades estructurales de la estructura de pavimento.
- Existen elementos en la teoría de Giroud y Noiray que deben ser mejorados y ampliados, lo que ha desembocado en el desarrollo de nuevas metodologías de diseño recientemente; sin embargo, estas se han basado en factores de seguridad

grandes, dejando un poco de lado el análisis de los mecanismos que imperan en la colocación de estos materiales en pavimentos.

- Se afirma que el trabajo del geosintético mejora cuando se coloca entre la capa granular del pavimentos, tal como proponen varios autores en investigaciones posteriores (e.g., Haas et al., 1988; Webster, 1993, Collin et al., 1996).

## Referencias

**American Society of Testing and Materials (ASTM).** (2003). *Standard Terminology for Geosynthetics*. Designation D 4439

**Backsdale, R. D., Brown, S. F., and Chan, F.** (1989). "Potential benefits of the geosynthetics in flexible pavement systems". *Washington DC: National Cooperative Highway Research Program Report No. 315*, Transportation Research Board, National Research Council.

**Caballeros, E.** (2006). "Utilización de la geomalla como refuerzo de la estructura de pavimento flexible" *Proyecto de graduación por optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil*, Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Collin, J.G., Kinney, T.C., and Fu, X.** (1996). "Full Scale Highway Load Test of Flexible Pavement Systems with Geogrid Reinforced Base Courses", *Geosynthetics International*, 3(4), pp. 537-549.

**Giroud, J., and Noiray, L.** (1981). "Geotextil Reinforced Unpaved Road Desing". *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE. Vol 7. No GT9*, 1233-1254.

**Haas, R., Walls, J. and Carroll, R.G.** (1988). "Geogrid Reinforcement of Granular Base in Flexible Pavements", *67th Annual Meeting*, Transportation Research Board, Washington, D.C.

**Holtz, R.**, (1998). "Geosynthetics Desing and Construction Guidelines". *Washington D.C.: US. Department of Transportation*. Federal Highway Administration (FHWA).

**Leiva, P. y Loria, L. G.** (2012). "Observaciones a la metodología tradicional de pavimentos reforzados con geosintéticos", *Revista de Ingeniería de Obras Civiles*, Chile.

**Leiva, P., Loria, L. G., Vargas, W., y Navas, A.**, (2013). "Efecto de confinamiento generado por un geosintético en estructuras de pavimento flexible", *XVII Congreso Iberoamericano del Asfalto*, Guatemala.

**PAVCO.** (2006). "Manual de diseño". *Geosintéticos. (Séptima edición)*. Bogotá D.C. – Colombia: AMANCO.

**Pérez, S., y Alzamora, D.**, (2010, Agosto). "Uso de geogrillas para el mejoramiento de caminos y subrasantes". *En: XIII Congreso de Argentina de Vialidad y tránsito*.

**Spectra.** (2009). "Sistema de mejoramiento de carreteras. Atlanta, Georgia". *Tensar International Corporation*.

**Webster, S.L.** (1993). "Geogrid Reinforced Base Courses for Flexible Pavements for Light Aircraft: Test Section Construction, Behavior Under Traffic, Laboratory Tests, and Design Criteria", *USAE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, Technical Report DOT/FAA/RD-92/25, 100 p.*