

# Observaciones a la metodología de diseño tradicional de pavimentos reforzados con geosintéticos

## Observation to the traditional design methodology for reinforced pavements with geosynthetics

Paulina Leiva Padilla<sup>1</sup>, Luis Guillermo Loría Salazar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Investigadora de la Unidad de Materiales y Pavimentos, PITRA, LanammeUCR, <sup>2</sup>Coordinador General del PITRA, LanammeUCR.  
paulina.leiva@ucr.ac.cr, phone: (506) 25114994, fax: 25114440

### RESUMEN

La colocación de materiales geosintéticos en pavimentos como sistema de refuerzo es una técnica para mejorar la capacidad mecánica de este tipo de estructuras, principalmente ante la problemática de los suelos blandos de subrasante. En este sentido, la metodología de diseño propuesta por Giroud y Noiray ante la ASCE en 1981 ha sido la más utilizada hasta la actualidad para el diseño de pavimentos reforzados con geosintéticos, sin embargo, propone una serie de supuestos que al parecer no son acertados, 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. Por tanto, mediante la presente investigación, se estudió la mecánica desarrollada en este tipo de estructuras, en términos de esfuerzos, deformaciones y deflexiones, con la finalidad de poder observar la idoneidad de estos supuestos (por medio de modelaciones con un software de elemento finito, ABAQUS). La investigación desarrollada encontró que en lugar de un problema de capacidad portante, el efecto de confinamiento del geosintético sobre el pavimento es mayor que el efecto de membrana, además que el coeficiente de fricción en la interfase material granular-geosintético es un elemento muy importante en el refuerzo de pavimentos.

### ABSTRACT

The placement of geosynthetics as a pavement reinforcement system is a technique used to improve its mechanical strength mostly under soft soil subgrades. In this regard, the design method proposed by Giroud and Noiray to ASCE in 1981 has been widely applied for pavement reinforced design with geosynthetics, however, their method proposes some questionable assumptions such as that the deformation of the geosynthetic consist on a series of deformed paraboles under the subgrade soil, the load is assumed as a plate where the failure mode is by bearing capacity, and their main contribution is due to a membrane effect. Therefore, this research effort studied the mechanics developed, in terms of stresses, strains and deflexions, in this type of structures by means of a Finite Element Model (FEM) to the end of determining the accuracy of the mentioned assumptions. The research found that instead of having a bearing capacity failure mode, the confining effect of the geosynthetic over the pavement is larger than the membrane effect, also the friction coefficient in the interfase granular layer – geosynthetic is a very important thing in the pavement reinforced system.

### INFORMACIÓN DEL ARTICULO

*Historial del artículo:*  
Recibido 17-julio-2012  
Aceptado 31 -agosto-2012  
Publicado día -mes-año

*Palabras Claves:*  
Geosintéticos  
Elemento Finito  
Refuerzo de pavimentos

### ARTICLE INFO

*Article history:*  
Received day-month-year  
Accepted day-month-year  
Available day-month-year

*Keywords:*  
Geosynthetics  
Finite Element Method  
Pavements reinforcement

## Introducción

Según la norma ASTM D 4439, se define geosintético como “un producto plano fabricado a partir de materiales poliméricos, para ser usado con suelo, roca, tierra o cualquier otro material geotécnico, como parte integral de un proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre” [1].

Estos materiales, son utilizados en la construcción de carreteras, principalmente por su labor de separación y refuerzo. La mejora en el refuerzo, genera un mayor desempeño de los pavimentos, disminuyendo espesores, o incrementando el tráfico.

A lo largo de la historia, se han realizado una serie de estudios y metodologías de diseño, que intentan considerar la incorporación de este tipo de materiales a las estructuras de pavimento. Estas tratan de introducir el comportamiento mecánico de los geosintéticos cuando son colocados específicamente en la interfase subrasante-capa granular, y más recientemente dentro de la capa de subbase. Por lo tanto, se hace necesario el estudio de los fundamentos de tales teorías, con la finalidad de mejorarlas y de esta manera, lograr que el diseño se acerque aún más a las condiciones reales que se van a modelar.

Por ejemplo, se podría incorporar en el análisis la interacción entre el geosintético y la capa granular o la capa de subbase, que puede ser representada por medio del Modelo Básico de Coulomb. Dicho modelo define el máximo esfuerzo cortante de fricción permisible, en términos del esfuerzo normal y el coeficiente de fricción en la interfase, que para tales efectos se considera como la tangente del ángulo del material en contacto.

Es importante anotar que teóricamente se ha definido la existencia de un efecto de membrana, que sería generado por deformación de la subbase, cuando ésta se encuentra bajo la acción de las cargas, y hace que el geosintético se estire como una membrana, el cual es el resultado de la componente vertical de esta tensión. A este efecto según la teoría tradicional de Giroud y Noiray [1], es al que se le ha atribuido mayoritariamente el trabajo mecánico del geosintético hasta la actualidad, y no al de

confinamiento por restricción lateral, que corresponde a la componente horizontal, y que a su vez genera un incremento a la capacidad del soporte, el cual parece merecer la atribución de generar el efecto positivo en el geosintético. En la Figura 1 se muestran los mecanismos de refuerzo desarrollados por los geosintéticos en pavimentos.

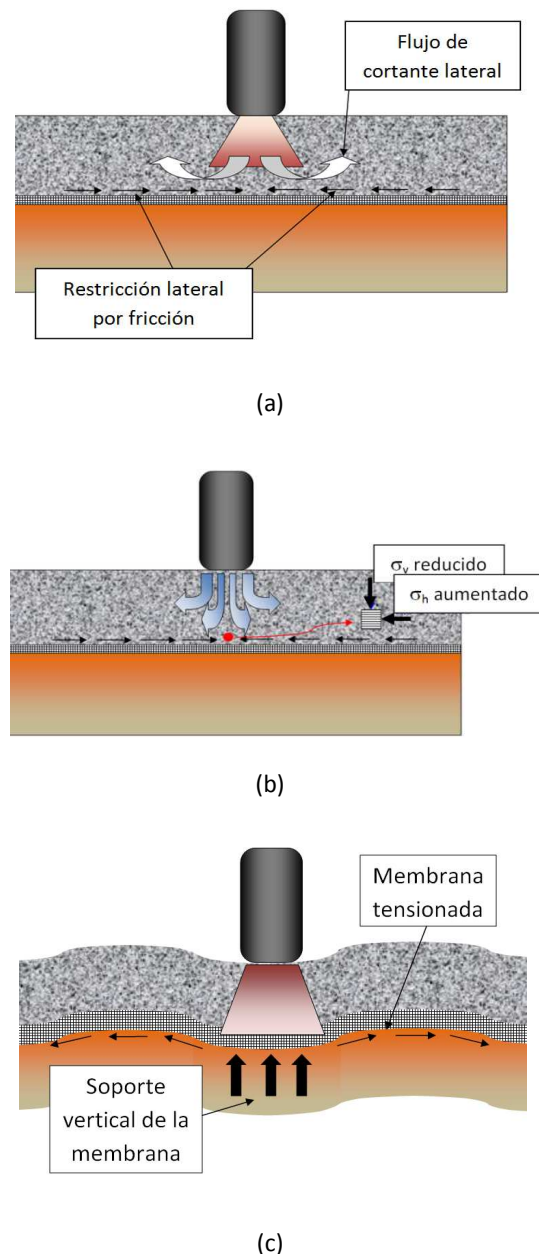


Figura 1. Mecanismos de refuerzo de geosintéticos en pavimentos (a) Restricción lateral, (b) Incremento en la capacidad de soporte y (c) Efecto de membrana.

La presente investigación tiene entonces la finalidad de comparar el análisis clásico de la formulación de Giroud y Noiray, con una evaluación realizada mediante la técnica del elemento finito, sobre la misma estructura de pavimento, condición de carga, propiedades de los materiales componentes, y localización especial del geosintético dentro del pavimento, en términos de los esfuerzos y deformaciones desarrollados en la fibra inferior de la capa granular, así como la influencia del tipo de interacción, en términos de coeficiente de fricción.

### Antecedentes

El estudio del comportamiento de los pavimentos reforzados con elementos geosintéticos y los métodos de diseño, han ido desarrollándose a lo largo de los últimos 30 años.

Bender y Barendsen en 1978 [2], fueron los primeros en estudiar este tipo de estructuras, examinando un tramo de prueba, con el que determinaron las relaciones entre el desarrollo de roderas, y el esfuerzo aplicado a la subrasante. Adicionalmente determinan como el mecanismo de falla cambia de esfuerzo local a general, y que la subrasante reforzada soporta un esfuerzo de más de 1.8 veces el de la subrasante sin refuerzo, lo que permite el uso de una capa más delgada de base granular. Con estos hallazgos, Kinney y Barendsen en 1980 [3], conformaron una serie de gráficos, asumiendo un tránsito bajo y una profundidad de rodera aceptable de 101 mm.

En 1977, Steward et al [4], desarrollaron, por medio de la utilización de una pista de prueba de pavimentos reforzados, una serie de tablas que recomiendan valores para el factor de capacidad de soporte del sistema geosintético-pavimento, de acuerdo al nivel de tráfico y al valor del ahuellamiento máximo aceptable.

Es en 1981, que Giroud y Noiray [5], desarrollaron la metodología de diseño con más aceptación y utilización de la actualidad, la cual, hace referencia a caminos de lastre reforzados. El presente informe se centra en el análisis de dicha tecnología.

Más recientemente, en el año 2001, Giroud y Han [6], hicieron una serie de modificaciones al

método desarrollado de 1981, con base en los resultados de pruebas a escala natural.

Actualmente, los fabricantes de geosintéticos, proponen una serie de metodologías, que están basadas en factores de seguridad, y la función que se desea cumplan en las estructuras de pavimento.

A continuación se describe el método de Giroud y Noiray:

#### a. Método de Giroud y Noiray

Esta metodología es el resultado de la investigación titulada "Diseño de carreteras sin pavimentar con refuerzo geotextil", desarrollada por Giroud y Noiray ante la ASCE en 1981. El método se asume que [5]:

- El material de subrasante corresponde a un suelo homogéneo, al menos a una profundidad  $H_{min}$ , suficiente para el desarrollo de una zona plástica.
- La carga corresponde a un eje simple equivalente, y su geometría se describe en la Figura 2.

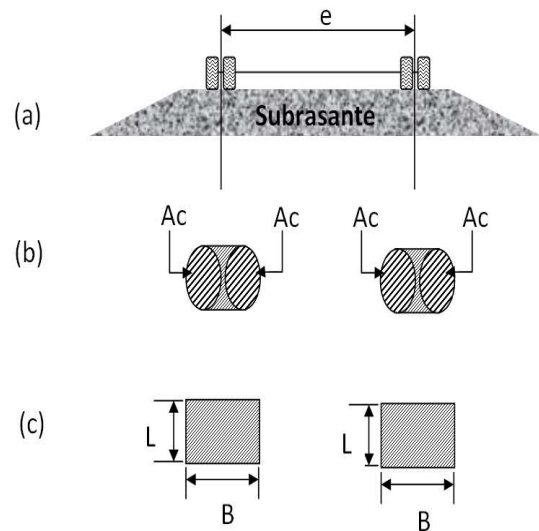


Figura 2. Geometría del eje del vehículo y definición del área de contacto: (a) Geometría del eje vehicular; (b) Áreas de contacto; (c) Área de contacto equivalente  
Fuente: [5, modificada y adaptada por autor]

- El agregado tiene las propiedades necesarias para asegurar una distribución adecuada de la carga aplicada, lo que quiere decir un valor de CBR mayor a 80.
- La subrasante está saturada, y tiene baja permeabilidad (prácticamente incompresible, y ángulo de fricción nulo).
- Las propiedades mecánicas del geotextil se describen por el comportamiento de este a la tensión-elongación.

Para el análisis cuasiestático, se debe considerar que la falla puede ocurrir en tres diferentes localidades: (1) en la capa de agregado (2) en el suelo de fundación, y (3) en el geotextil; este método solo considera la segunda y tercer localidad. Además, asume que:

- El coeficiente de fricción de la capa de agregado es tan alto como para asegurar la estabilidad mecánica de la capa.
- El ángulo de fricción de contacto entre el geotextil y la capa de agregado bajo las llantas (ruedas del vehículo) es suficientemente grande como para prevenir el deslizamiento.

La distribución de la carga se considera con una distribución piramidal, que es similar al método 2:1, cuando  $\alpha_o = 26.6^\circ$ , (recomendado a utilizar por Giroud y Noiray), tal como se muestra en la Figura 3.

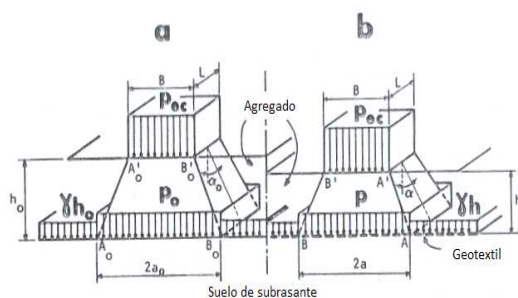


Figura 3. Distribución de la carga en la capa de agregado: (a) caso sin geosintético, (b) caso con geosintético  
Fuente: [5]

Para la condición reforzada, se considera reducción del espesor, y se modifica el ángulo de distribución piramidal con respecto a la profundidad de la presión  $p_{ec}$  (ver Figura 3),

aplicada en su superficie para las condiciones con y sin refuerzo geosintético (Ecuaciones 1 y 2).

Sin geosintético

$$p_{ec} * L * B = (B + 2 * h_o * \tan \alpha_o)(L + 2 * h_o * \tan \alpha_o)(p_o - \gamma * h_o) \quad \text{Ecuación 1}$$

Con geosintético

$$p_{ec} * L * B = (B + 2 * h * \tan \alpha)(L + 2 * h * \tan \alpha)(p - \gamma * h) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, haciendo referencia a la Figura 3:

B y L: dimensiones del área de carga (m).

$\gamma$ : Peso volumétrico del agregado ( $N/m^3$ ).

$h_o, h$ : Espesor de la capa granular sin refuerzo geosintético y con refuerzo geosintético respectivamente (m).

$\alpha_o, \alpha$ : Ángulo de distribución piramidal de carga sin y con refuerzo geosintético (en grados).

$p_o, p$ : presión en la capa granular para la estructura sin y con refuerzo geosintético (Pa).

De las ecuaciones 1 y 2 se obtienen las Ecuaciones 3 y 4 con respecto a los valores de  $p_o$  y  $p$  descritos anteriormente:

Sin geosintético

$$p_o = \frac{P}{2(B + 2 * h_o * \tan \alpha_o)(L + 2 * h_o * \tan \alpha_o)} + \gamma * h_o \quad \text{Ecuación 3}$$

Con geosintético

$$p = \frac{P}{2(B + 2 * h * \tan \alpha)(L + 2 * h * \tan \alpha)} + \gamma * h \quad \text{Ecuación 4}$$

P: Carga del eje (N).

Para la condición sin refuerzo, la máxima capacidad de soporte  $q_e$ , correspondiente al límite elástico de la subrasante, se puede determinar también como:

$$q_e = \pi c + \gamma h_o \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde la capacidad de soporte aumenta hasta la capacidad última  $q^*$  en la condición reforzada es.

$$q^* = (\pi + 2) * c + \gamma h$$

Ecuación 6

c: cohesión no drenada del suelo sin fricción (Pa).

De las ecuaciones anteriores se obtiene la ecuación 7 siguiente:

$$c = \frac{P}{2\pi \left( \sqrt{\frac{P}{p_c} + 2h_0 \tan \alpha_0} \right) \left( \sqrt{\frac{P}{2p_c} + 2h_0 \tan \alpha_0} \right)}$$

Ecuación 7

p<sub>c</sub>: Presión de inflado de la llanta (Pa).

La ecuación anterior corresponde al valor de la cohesión del suelo de subrasante. De esta ecuación, se despeja el espesor h<sub>o</sub> de la capa de material granular.

Por otro lado, el método también asume una geometría de deformación del geotextil que consiste en una serie de parábolas tal como se observa en la Figura 4.

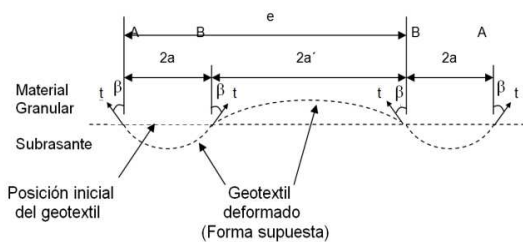


Figura 4. Geometría de deformación del Geotextil.  
Fuente: [5]

El geotextil funciona entonces conforme a esta deformación, al módulo secante de la curva de la deformación en función de la aplicación de la carga longitudinal (ASTM D 4595), y de la tensión. El valor de la respuesta P<sub>g</sub> que desarrolla el geotextil para aliviar la carga transmitida a la subrasante se calcula como:

$$P_g = \frac{K\varepsilon}{a \sqrt{1 + \left(\frac{a}{2S}\right)^2}}$$

Ecuación 8

Donde:

K = Módulo secante del geotextil para una determinada deformación.

ε = Deformación unitaria del geotextil.

a = Longitud según geometría supuesta.

S = Asentamiento bajo la carga o profundidad de rodera.

Y la capacidad última igual a:

$$p^* = p - P_g$$

Ecuación 9

p\*: Presión aplicada en la subrasante por el geotextil.

De la interacción de estas ecuaciones se formula la siguiente, que permite determinar el nuevo espesor de la estructura reforzada (h).

$$(2 + \pi) * c = \frac{P}{2 * (B + 2 * h * \tan \alpha) * (L + 2 * h * \tan \alpha)} - \frac{K\varepsilon}{a \sqrt{1 + \left(\frac{a}{2S}\right)^2}}$$

Ecuación 10

Los autores también desarrollaron sus propios gráficos para facilitar el cálculo usando las ecuaciones anteriores; los gráficos se muestran en las Figuras 5, 6, y 7.

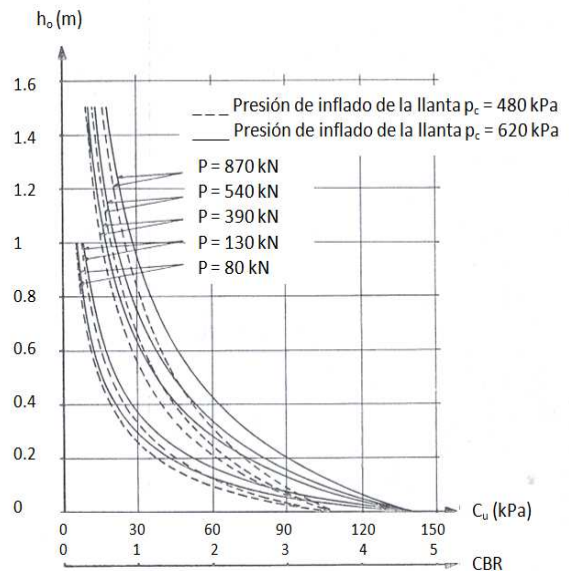


Figura 5. Gráficos método de Giroud y Noiray.  
Fuente: [5]

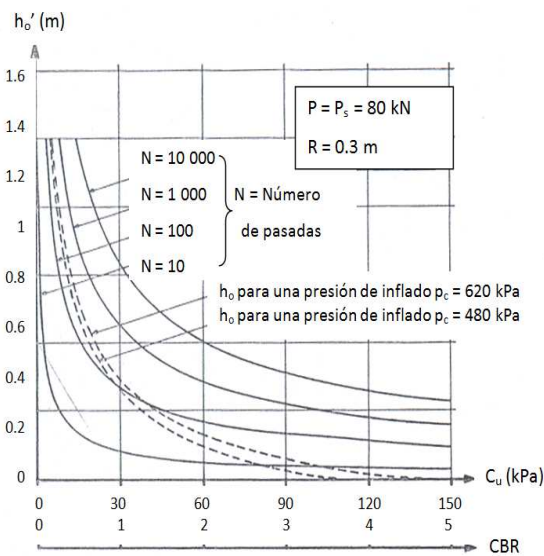


Figura 6. Gráficos método de Giroud y Noiray.  
Fuente: [5]

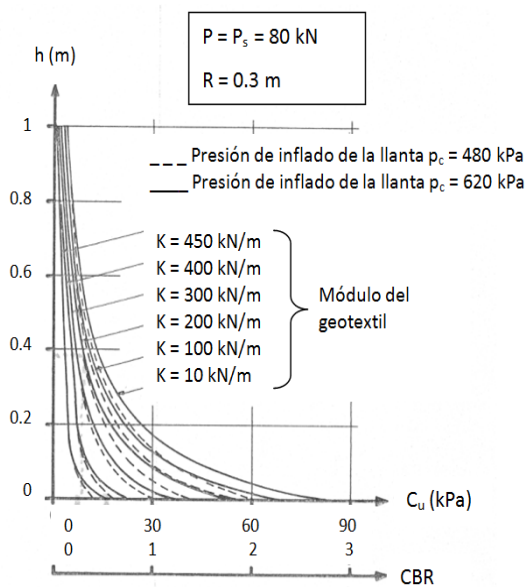


Figura 7. Gráficos método de Giroud y Noiray.  
Fuente: [5]

### Análisis del trabajo mecánico del geosintético como refuerzo en pavimentos

Para el desarrollo del análisis del trabajo mecánico de los materiales geosintéticos en una estructura de pavimento, se eligió la siguiente

configuración de capas y materiales componentes (Figura 8), donde se define un estrato equivalente (EEQ) de espesor igual a la suma de los espesores de las capas sobre la subrasante, con el objetivo de hacerlo comparativo con la metodología de Giroud y Noiray, en el caso para caminos de grava sin capa de ruedo asfáltica o de concreto.

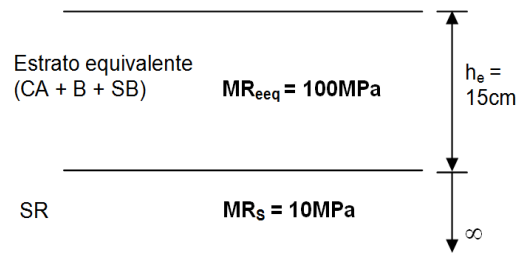
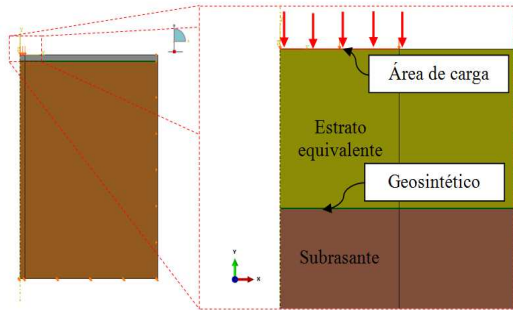


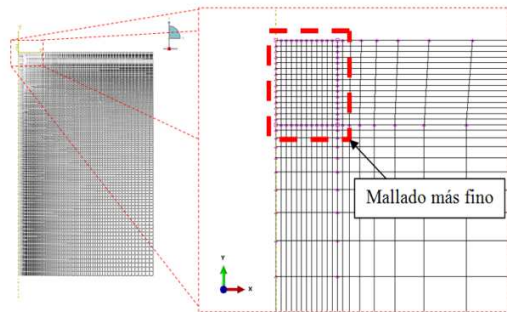
Figura 8. Configuración utilizada (Estrato equivalente)

La estructura de la Figura 8, fue modelada en el software de elemento finito ABAQUS, en un modelo axisimétrico, donde la carga se definió como un área circular de 124 mm de radio, y un valor de presión de 0.827 MPa. La distancia del eje de simetría en la horizontal hacia la frontera fue de 3500 mm, con la finalidad de que no existiera influencia de las condiciones de borde en los valores obtenidos, y se le restringieron los desplazamientos en la dirección perpendicular a la carga, para permitir los desplazamientos con respecto al eje vertical en caso de ser necesario, pero no permitir desplazamiento en el eje horizontal en este caso, de manera que se simulen adecuadamente las condiciones de frontera. Para la frontera inferior, la distancia desde la superficie fue de 5000 mm, y se restringieron en este caso los desplazamientos tanto en la dirección de la carga, como perpendicular a esta, ya que a tal profundidad, los desplazamientos en ambas direcciones no deben ocurrir. Al modelo definido, se le refinó la malla en los alrededores de la zona de carga, donde para los efectos del análisis, tienen mayor importancia los valores de los esfuerzos y deformaciones, el número de nodos definidos fue de 15238, y el número de elementos asociados fue de 14504. La convención de signos se define como positiva hacia arriba, la derecha y saliendo del plano, con las direcciones en "x", "y" y "z", tal como se muestra en la Figura 9, donde además, se observan fases de la definición del modelo, así como una vista preliminar del barrido de un

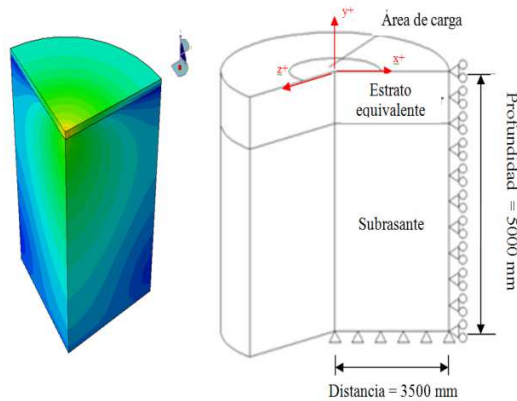
cuarto del modelo alrededor de su eje de simetría.



(a)



(b)



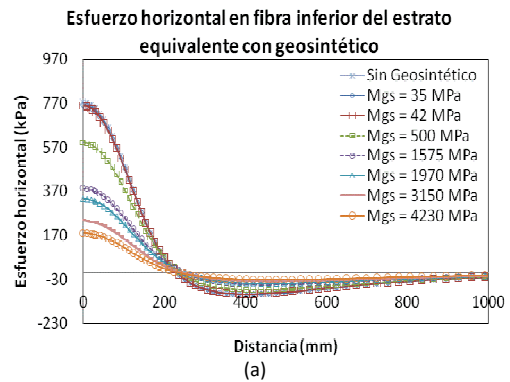
(c)

Figura 9. 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 con rotación alrededor del eje de simetría y esquema del modelo con la convención de ejes utilizada.

### Efecto sobre esfuerzos y deformaciones en la fibra inferior del estrato equivalente

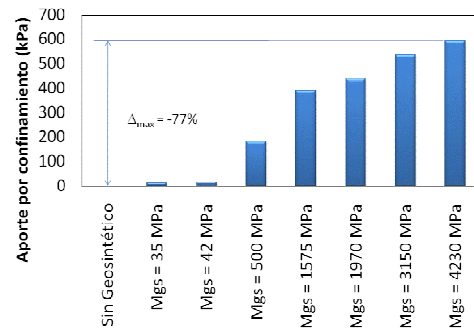
Para el análisis se eligió primeramente la condición ideal de interacción, que consiste en el

contacto total, entre la capa del estrato equivalente y de la subrasante con el geosintético, en que las partículas no experimentan fricción porque no se deslizan unas respecto a las otras. Se consideran variaciones en el valor del módulo del geosintético ( $M_{gs}$ ), considerando valores comerciales, como un análisis de sensibilidad para determinar su influencia en la capacidad mecánica, en términos del valor de su módulo elástico. Los resultados respecto a esfuerzos en la fibra inferior del estrato equivalente para la componente horizontal se muestran en la Figura 10, y para la componente vertical en la Figura 11.



(a)

### Aporte debido al confinamiento por restricción lateral al esfuerzo horizontal bajo la carga para diferentes valores del módulo del geosintético ( $M_{gs}$ )



(b)

Figura 10. (a) Esfuerzos horizontales y (b) aporte al confinamiento por restricción lateral en la fibra inferior del estrato equivalente con geosintético, ante módulo elástico variable del mismo ( $h=15\text{cm}$ ,  $MR_{eq}=100\text{MPa}$ ).

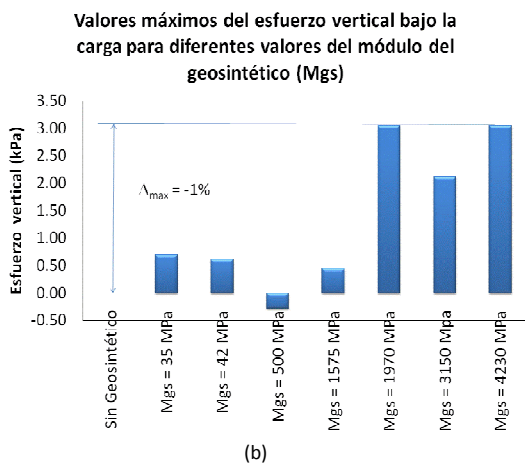
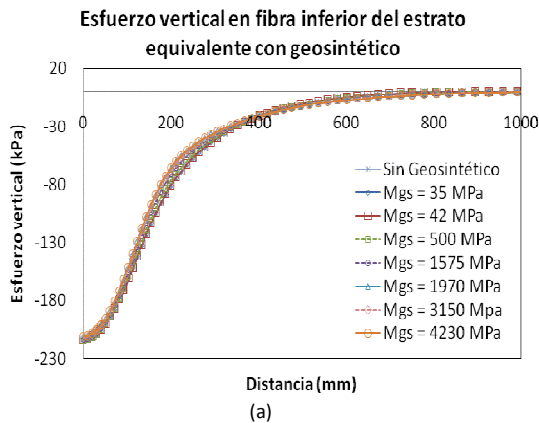


Figura 11. (a) Esfuerzos verticales y (b) sus correspondientes valores máximos bajo la carga en la fibra inferior del EEQ con geosintético, ante módulo elástico variable del mismo (h=15cm, MR<sub>eeq</sub>=100MPa)

En la Figura 12, se muestran los valores de deformación horizontal en la fibra inferior del estrato equivalente, y los valores máximos obtenidos para esta componente. Posteriormente en la Figura 13, se muestran las deformaciones verticales en esta misma localidad, con sus respectivos valores máximos. Ambas figuras muestran la situación de la estructura sin elemento geosintético y con elemento geosintético para diferentes valores de módulo.

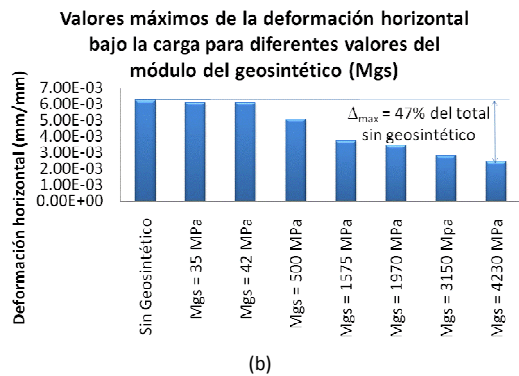
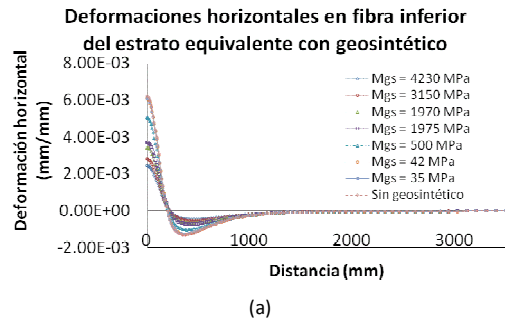


Figura 12. (a) Deformaciones horizontales y (b) máximos valores a nivel de la subrasante (h=15cm, MR<sub>eeq</sub>=100MPa)

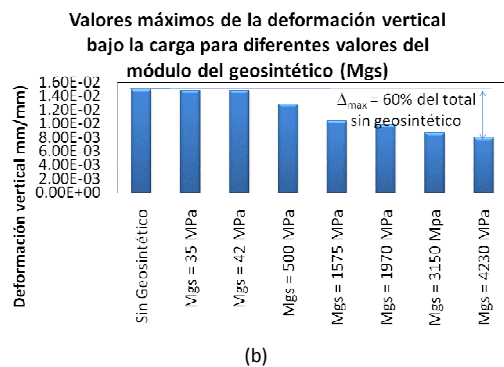
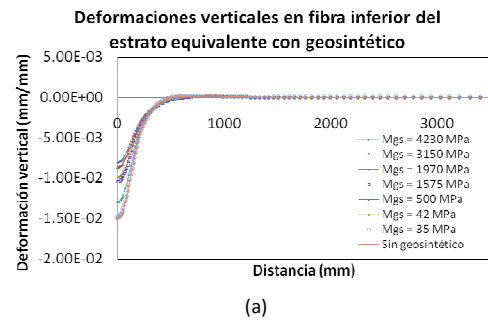


Figura 13. (a) Deformaciones verticales y (b) máximos valores a nivel de la subrasante (h=15cm, MR<sub>eeq</sub>=100MPa)



De la Figura 10 se puede notar como efectivamente se da una reducción considerable de los esfuerzos horizontales conforme la capacidad del geosintético aumenta en términos del valor de su módulo, aumentando la capacidad de la estructura considerablemente por el efecto de confinamiento por restricción lateral generado, en valores de hasta 600 kPa en la componente horizontal para el caso en que el módulo del geosintético es de 4230 MPa, que es el mayor valor comercial considerado en este caso. Por otro lado, las reducciones para la componente de membrana son bastante inferiores, en rangos de alrededor de 4 kPa como máximo, lo que demuestra que efectivamente el efecto de confinamiento tiene una mayor influencia en el comportamiento de la estructura reforzada con geosintéticos. Con respecto a las deformaciones se puede notar en las Figuras 12 y 13 como para ambos efectos se da una reducción en magnitud, siendo más significativa la reducción para la componente vertical, tal como se resume en la Figura 14.

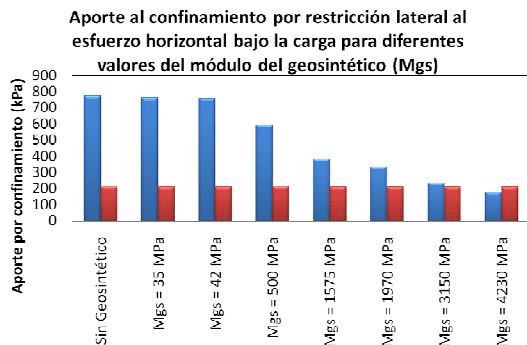
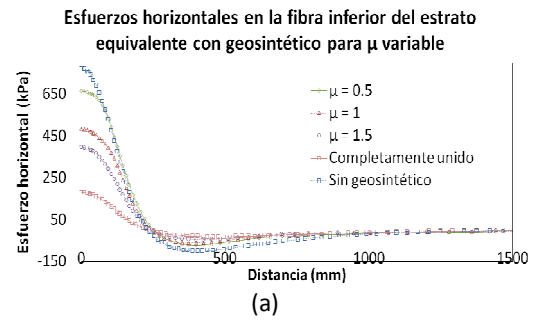


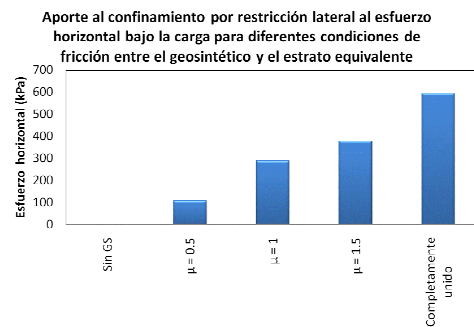
Figura 14. Valores máximos de deformaciones verticales y horizontales en la fibra inferior del estrato equivalente bajo la carga.

### Efecto de la variación del coeficiente de fricción entre la capa de estrato equivalente y el geosintético

Seguidamente en las Figuras 15 y 16 se presentan los gráficos de análisis de los esfuerzos horizontales y verticales en la fibra inferior del estrato equivalente, ante diferentes condiciones de fricción ( $\mu$ ) entre esta capa y el geosintético, representado en términos de la variación en el coeficiente de fricción para la componente tangencial, mientras que en la componente normal se considera un contacto completo.

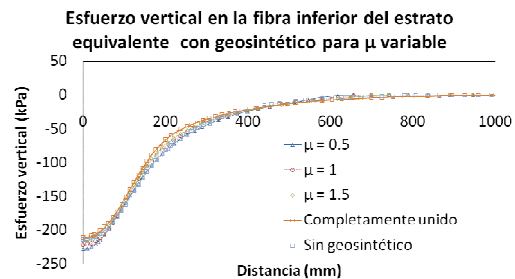


(a)

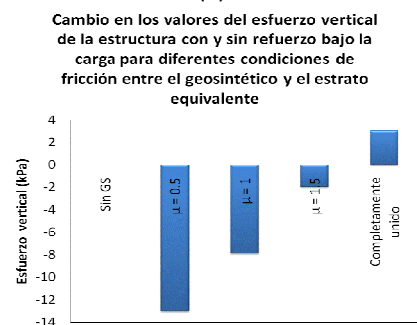


(b)

Figura 15. (a) Distribución de los esfuerzos horizontales y (b) su aporte al confinamiento por restricción lateral, en el estrato equivalente para diferentes valores de  $\mu$  ( $h=15\text{cm}$ ,  $MR_{\text{eeq}}=100\text{MPa}$ ).



(a)



(b)

Figura 16. (a) Distribución de los esfuerzos verticales y (b) su cambio con respecto a la condición sin refuerzo, en el estrato equivalente para diferentes valores de  $\mu$  ( $h=15\text{cm}$ ,  $MR_{\text{eeq}}=100\text{MPa}$ ).

De las Figuras 15 y 16 se observa como indudablemente el tipo de interacción afecta en el trabajo mecánico del geosintético en cuanto a cómo refuerza la estructura de pavimento para ambas componentes, horizontal y vertical. Se logra demostrar que conforme se da un acercamiento a las condiciones ideales, traducido como un valor del coeficiente de fricción mayor, hay un aumento en el trabajo del geosintético en la estructura, en términos del aporte al confinamiento por restricción lateral. También se nota como la componente vertical, referente al aporte del efecto de membrana, una tendencia a aumentar los valores de los esfuerzos verticales, sin embargo estos valores son poco significativos en cuanto a su magnitud. A partir de esto, es notoria la importancia de desarrollar de técnicas constructivas adecuadas durante el proceso de construcción del pavimento con este tipo de elementos, de modo que se desarrolle el mayor estado de fricción del geosintético, con la finalidad de acercarse al estado ideal que sería en contacto completo, donde las partes en contacto no experimentan fricción y por ende tampoco deslizamiento.

Como complemento a la información anterior con base en el análisis realizado, se grafica en la Figura 17 el valor de los desplazamientos verticales a nivel de la subrasante, con la finalidad de comprobar si el supuesto de deformación del geosintético establecido por Giroud y Noiray, se adecúa a las condiciones desarrolladas en la estructura.

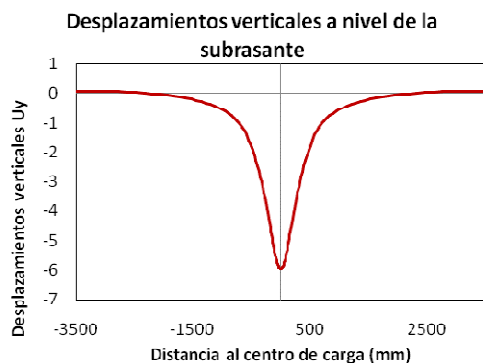


Figura 17. Desplazamientos a nivel de la subrasante, teoría de Giroud y Noiray y teoría elástica

En la Figura 17 se evidencian las diferencias con la teoría de Giroud y Noiray, porque primero ésta

supone un desplazamiento del geosintético por encima de su posición original, y segundo supone un comportamiento del desplazamiento parabólico, que en apariencia no ocurre.

### Discusión a la teoría de Giroud y Noiray versus el análisis mecánico con un modelo de elemento finito

De las Figuras mostradas en la sección anterior (Figuras 10 a 16), fue posible definir que el trabajo mecánico del geosintético sobre el paquete estructural del pavimento se asocia al efecto de confinamiento por restricción lateral, que aparentemente tiene una mayor influencia que el efecto de membrana del pavimento al entrar éste en tensión. Esto se contrapone a la proposición de distribución piramidal 2:1 de los esfuerzos verticales y horizontales de Giroud y Noiray (1981). Respecto a los valores de deformación se nota que efectivamente se reducen, producto de la mejora del paquete estructural efectuado por el incremento del efecto de confinamiento mencionado anteriormente.

Por otro lado la Figura 15 indica con claridad que el tipo de interacción de contacto entre el geosintético y la capa granular tiene una gran influencia en el trabajo mecánico que éste desarrolle, por lo que las técnicas constructivas tienen un alto impacto en el desarrollo de la capacidad mecánica de estos elementos en las estructuras de pavimento.

Finalmente, en la Figura 17 se muestra que la deformación del geosintético, al ser colocado en la interfase suelo – estructura de pavimento, igualmente obtenido de las modelaciones realizadas con el programa ABAQUS para las teorías de elasticidad, es diferente a la supuesta por la teoría formulada por Giroud y Noiray, de una distribución piramidal que produce zonas cóncavas bajo la carga y zonas convexas en el medio, que suben y bajan del nivel inicial en que se colocó el material.

### Conclusiones y recomendaciones

Entre las principales conclusiones obtenidas mediante esta investigación se encuentran:

- El trabajo mecánico que desarrollan los geosintéticos en las estructuras de pavimento se podría atribuir al aporte al confinamiento por restricción lateral de las capas granulares, contrario a lo que la teoría tradicional de Giroud y Noiray menciona, que es debido al efecto de membrana.
- El tipo de interacción (fricción desarrollada entre las capas) entre el geosintético y la capa de material granular es un elemento importante en el aporte mecánico que el geosintético le pueda dar a la estructura, lo que revela la importancia del desarrollo de técnicas constructivas adecuadas.
- Con el refuerzo de las estructuras de pavimento por medio del uso de elementos geosintéticos, se evidencia una reducción en las deformaciones a nivel de la capa de material granular, principalmente en la componente vertical. Esto es producto de la mejora en las propiedades mecánicas de la capa granular por el incremento del confinamiento como resultado del aumento en la restricción lateral que se genera con la colocación del geosintético, y que por tanto reduce los esfuerzos (Figura 18).

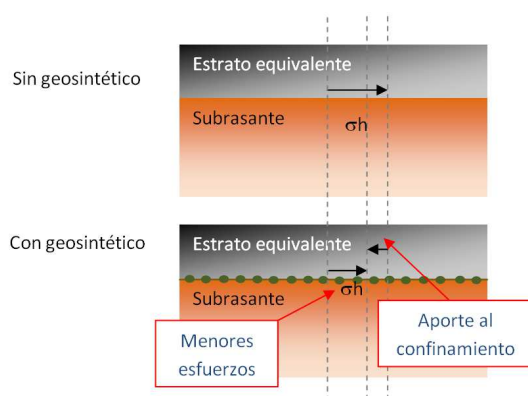


Figura 18. Aporte al confinamiento por restricción lateral

- Además, la teoría de Giroud y Noiray se desarrolla únicamente para materiales geotextiles, dejando de lado las geomallas, que por sus características generan mayor aporte a la función de refuerzo, y los geocompuestos que

pareciera intentan las dos funciones principales de los materiales geosintéticos en los pavimentos, que son el refuerzo y la separación.

- Otra de las deficiencias de la teoría de Giroud y Noiray es que fue desarrollada para caminos de lastre sin pavimentar, por lo que debe ser modificada de manera que se considere el comportamiento mecánico de las capas que definen un pavimento flexible tales como: la subrasante, subbase granular, base granular, bases estabilizadas, y carpeta asfáltica.
- También se logró observar del análisis que el supuesto de la deformación desarrollada por el geosintético, el cual se basa en una serie de parábolas, no es del todo correcto, lo que demuestra nuevamente que es necesario el desarrollo de una metodología de diseño más apropiada.

En resumen, es necesario el desarrollo de nuevos métodos de diseño de pavimentos reforzados con geosintéticos, ya que se evidencia que la teoría de Giroud y Noiray, más utilizada hasta la actualidad, tiene una serie de limitaciones en sus supuestos, con el comportamiento real del geosintético como refuerzo de pavimentos. Esto, porque los geosintéticos son una alternativa que ha mostrado ser una solución adecuada en el proceso de diseño a la gran problemática que representan los suelos blandos de subrasante.

## Referencias

[1] [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2011. Normas referentes a geosintéticos.

[2] Bender, D. A., and Barenberg, E. J. (1978), Design and Behavior of Soil-Fabric- Aggregate Systems. Transportation Research Record No. 671, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 64-78.

[3] Kinney, T., and Barenberg, E. 1980. The Strengthening Effect of Geotextiles on Soil-Geotextile-Aggregate Systems, Proceedings of the Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, NV, pp. 347-352.

[4] Steward, J., Williamson, R., and Mohney, J. 1977. Guidelines for use of fabrics in construction and maintenance of low-volume roads. Rep. FHWA-TS-78-205, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

[5] Giroud, J., & Noiray, L. 1981. Geotextil Reinforced Unpaved Road Desing. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE. Vol 7. No GT9. 1233-1254.

[6.a] Giroud, J.P. and Han, J. 2004a. Design method for geogrid-reinforced unpaved roads– Part I: theoretical development, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(8), 776-786.

[6.b] Giroud, J.P. and Han, J. 2004b. Design method for geogrid-reinforced unpaved roads– Part II: calibration and verification, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(8), 787-797.