

El refuerzo de estructuras de pavimento flexible por medio de la utilización de materiales geosintéticos, se ha mostrado en los últimos años como una solución adecuada, a la solicitud mecánica y funcional, que este tipo de estructuras experimenta, principalmente ante la problemática que generan los suelos blandos de subrasante.

“El objetivo principal de la colocación de este tipo de materiales en obras de pavimentación, es reducir la cantidad de material necesario durante el proceso de construcción.”

Como un preámbulo a esta situación, en la presente investigación se pretendió, estudiar el efecto de confinamiento por restricción lateral, que aportan materiales geosintéticos, a las capas granulares de las estructuras de pavimento flexible. Para este fin, se utilizó el método de elemento finito, por medio del programa ABAQUS, el cual permite, la introducción de este tipo de elementos a la estructura -capacidad que los programas de análisis de pavimentos tradicionales no poseen-, en conjunto con las ecuaciones para la determinación del módulo de resiliencia de materiales granulares.

Ing. Luis Guillermo Loria Salazar
luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

Ing. Paulina Leiva Padilla
paulina.leivapadilla@ucr.ac.cr

Laboratorio Nacional de Materiales de Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica

INTRODUCCIÓN

Un pavimento es una estructura compuesta por diferentes materiales, que se colocan en espesores definidos y bajo condiciones de drenaje apropiadas, de manera que su diseño provea una base de apoyo, para que las cargas de tránsito sean transmitidas a la subrasante de forma amortiguada.

Para lograr este propósito, el diseño de pavimentos flexibles se relaciona básicamente en la definición de una estructura apropiada ante dos de sus respuestas estructurales: la deformación en tensión en la fibra inferior de la capa asfáltica y el esfuerzo vertical en la superficie de la subrasante; en el primer caso, para la prolongación de la vida a fatiga de la estructura y, en el segundo, a la deformación permanente.

La presente investigación se enfoca en el estudio de la utilización de materiales geosintéticos para el refuerzo estructural en la interfaz subbase-subrasante. Como se mencionó anteriormente, en esta localidad la respuesta que se necesita reducir es el esfuerzo vertical que llega a la subrasante, lo que ha motivado a que parte de las metodologías y estudios realizados tengan un enfoque dirigido principalmente, al análisis de la componente vertical desarrollada por estos materiales al desarrollar tensión.

Sin embargo, existe un mecanismo complementario, desarrollado por la componente horizontal del geosintético en tensión, que provoca un efecto de confinamiento a la capa granular superior. Este mecanismo no ha sido suficientemente estudiado, ya que su cuantificación es calificada como un procedimiento complejo, por su dependencia de gran variedad de factores involucrados en la mecánica del problema (por ejemplo: propiedades de los materiales esfuerzo dependientes, desarrollo de fluencia, entre otros) (Pérez, y Alzamora, 2010)

Seguidamente se pretende mostrar la propuesta a una metodología teórica para cuantificar de manera aproximada este efecto, haciendo uso de las ecuaciones mecánicas que definen el módulo de resiliencia de los materiales granulares, en conjunto con modelación y análisis por medio de programas de elemento finito.

El refuerzo de geosintéticos en pavimentos

Filtración, drenaje, separación, refuerzo, barrera y protección; son las seis principales funciones que cumplen los materiales geosintéticos en pavimentos, de acuerdo al Manual de diseño y construcción con geosintéticos, de la Administración Federal de Carretas (FHWA, por sus siglas en inglés) (Holtz, 1998).

Para la descripción apropiada de la función del refuerzo es necesario mencionar tres mecanismos desarrollados por el geosintético durante el uso de la vía: la restricción lateral de la capa granular, el incremento en la capacidad de soporte y el efecto de membrana. Seguidamente se describirá más afondo cada uno de ellos.

Restricción lateral de la capa granular: efecto asociado al confinamiento generado por la fricción en el caso de los geotextiles y trabazón en el caso de las geomallas, entre el agregado y el suelo en contacto con el geosintético.

Incremento en la capacidad de soporte: este mecanismo está asociado con el efecto anterior; las tensiones de corte desarrolladas por entre el geosintético y el agregado, generan un incremento aparente en la capacidad de soporte de esta capa, reduciendo la cantidad de espesor requerido para cumplir con la misma solicitud estructural.

Efecto de membrana tensionada: efecto desarrollado por el geo sintético al entrar en tensión y que se asocia principalmente con la componente vertical que genera una resistencia hacia arriba y por tanto un confinamiento hacia abajo que reduce la tensión vertical aplicada a la subrasante.

Materiales y Métodos

La investigación desarrollada se basa en el desarrollo de modelos teóricos de elemento finito, con axisimetría en el eje correspondiente a la profundidad de la estructura (eje z, Figura 1).

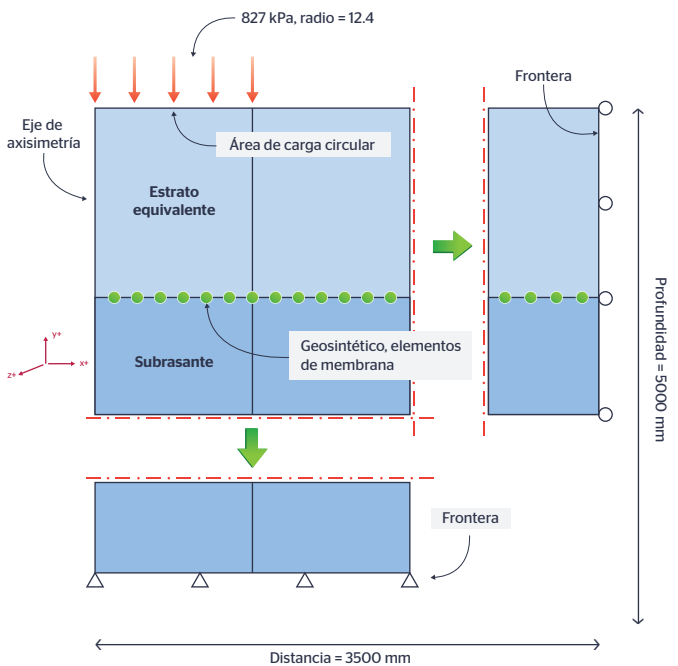


Figura 1. Definición del modelo en ABAQUS (condiciones de carga, frontera, materiales, convención de ejes).

El modelo consiste en un sistema de dos capas, constituido del suelo o subrasante y un estrato equivalente a las capas superiores del pavimento (Figura 1). El análisis se realizó en un rango de valores límite típicos establecidos, que se muestran en la Tabla 1 y la Tabla 2.

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 1. Parámetros empleados en el sistema de dos capas

Geosintético	Consistencia	E(Mpa) asumiendo t=0,00254 m
Geotextil	Rígido	3150
	Medio	1575
	Suave	42
Geomalla	Rígido	4230
	Medio	1970
	Suave	35

Tabla 2. Propiedades de los materiales geosintéticos

La estructura fue cargada con 40 kN en un área circular correspondiente a la aplicación de una presión de inflado de 827 kPa (120 psi). En las fronteras se restringen los movimientos en la dirección y y x para el borde inferior, y en la dirección x para el borde externo, colocado a una distancia prudente de manera que se eviten los efectos de borde (Figura 1). El modelo requirió de 15238 nodos con 14504 elementos asociados.

Posteriormente, para la determinación de la cantidad de confinamiento que el geosintético confiere al sistema, se parte de la modelación de la estructura sin este material, y seguidamente se realiza el cálculo del módulo resiliente del material del estrato equivalente, considerando el modelo constitutivo descrito en la ecuación 1, a cada 10 mm de profundidad del estrato equivalente.

$$M_R = k_1 \theta^{k_2}$$

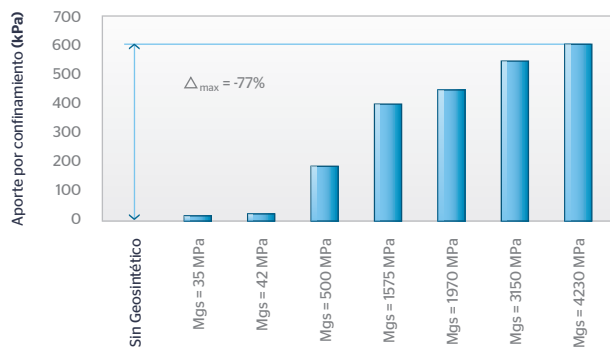
Ecuación 1

Para el correspondiente análisis, el valor de k2 fue supuesto como un valor constante de 0,45, según los rangos típicos dados para materiales granulares de subbase (Rada y Witczak, 1981 (Instituto Mexicano del Transporte, 2001)), y el valor de k1, fue determinado por minimización del error entre el valor promedio y el deseado, de manera que el módulo promedio a cada profundidad, fuese igual al requerido en la modelación y fuese válida la modelación en el rango elástico de la estructura.

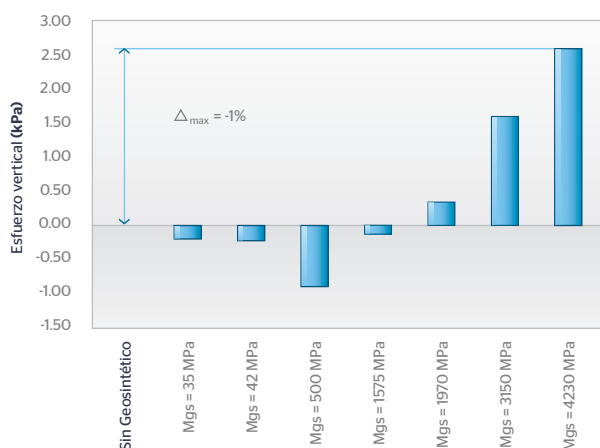
Conociendo entonces los valores de k1 y k2, se procedió a analizar la misma estructura con material geosintético, realizando nuevamente el cálculo para el valor de módulo y consiguientes parámetros para finalmente determinar el efecto de confinamiento generado por el material geosintético.

Materiales y Métodos

En primer lugar, se parte de un análisis descriptivo del aporte estructural dado por el material geosintético, ante variaciones en el valor de su módulo, que representaría en este caso, las diferentes rigideces y tipos de geosintéticos presentes en el mercado (Figura 2).



(A)



(B)

Figura 2. Análisis descriptivo a diferentes valores de módulo del geosintético (a) Aporte al confinamiento por restricción lateral y (b) Aporte vertical por el efecto de membrana tensionada

Los resultados anteriores muestran que, el mayor aporte desarrollado por el geosintético es debido a la componente horizontal de aporte al confinamiento por restricción lateral, que por la componente vertical, atribuida al efecto de membrana principalmente según Giroud y Noiray (1981).

Complementariamente a lo anterior, en la Figura 3 se grafican las componentes de los esfuerzos desarrollados por el geosintético a diferentes distancias del eje de simetría. Los resultados muestran que el geosintético como tal, es quien experimenta una mayor componente vertical de esfuerzos al entrar en trabajo; sin embargo, no es sino a la distancia de poco más de un radio del centro de carga donde esta solicitud es considerable; es importante acá anotar que el diseño de los materiales que constituyen el pavimento, debe basarse en la respuesta de la estructura como tal, por lo que se reitera que es la componente horizontal la que le confiere un efecto de confinamiento considerable, con el cual mejora la capacidad estructural del pavimento.

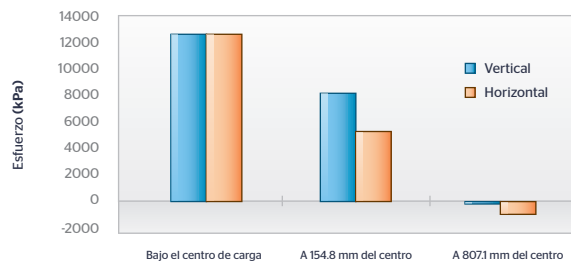


Figura 3. Esfuerzos en el material geosintético a diferentes distancias del eje de axisimetría

Seguidamente, de los resultados del proceso validación para la aplicación de un análisis elástico, que consiste en la modelación y análisis de la estructura, partiendo de un valor de módulo semilla establecido, se determinaron los parámetros k del modelo, que posteriormente se utilizaron en la determinación del módulo elástico requerido por la estructura reforzada.

k1 (MPa)	81
k2	0.45
Módulo semilla (MPa)	100
Módulo requerido por la estructura (Mpa)	91

Tabla 3. Determinación de los parámetros k del módulo para la validación de un modelo elástico, caso sin geosintético

Una vez estabilizados los valores y realizados los análisis correspondientes, fue posible determinar la diferencia en el aporte de cada uno de los componentes mencionados. Los resultados mostraron que el mayor aporte es dado por el efecto del confinamiento por restricción lateral, cuyo valor para este caso fue de 615 kPa, contra 2 kPa del aporte por la componente vertical de membrana

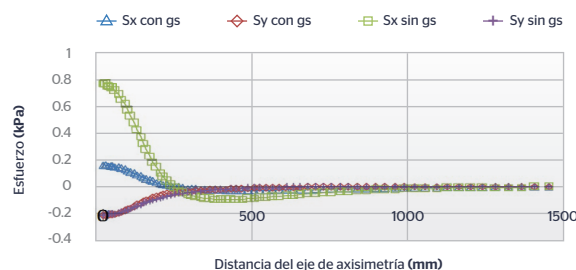
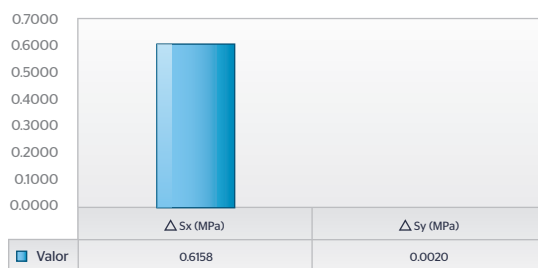


Figura 4. (a) Aporte de las componentes vertical (membrana) y horizontal (confinamiento) en el reforzamiento de pavimentos con geosintéticos y (b) estado de esfuerzos en la fibra inferior del estrato equivalente