

Jorge G. ZornbergProfesor del Departamento de Ingeniería Civil,
Universidad de Texas en Austin.

Funciones y aplicaciones de geosintéticos en carreteras

Los geosintéticos han sido utilizados con éxito para cumplir con una serie de funciones que contribuyen significativamente al buen desempeño de las carreteras. Específicamente, se han utilizado para cumplir con las funciones de separación, filtración, refuerzo, rigidización, drenaje, barrera y protección. Una o más de ellas se usan en por lo menos seis aplicaciones importantes para proyectos viales: estabilización de la subrasante, reducción de la contaminación de materiales de capas diferentes, disminución del contenido de humedad, estabilización de la capa de base, mitigación de agrietamiento reflectante en sobrecarpetas de asfalto y disminución de problemas asociados con la presencia de arcillas expansivas (cargas ambientales). Este artículo ilustra las funciones y los mecanismos, así como recientes avances relacionados con las diferentes aplicaciones de geosintéticos en carreteras.

1. INTRODUCCIÓN

Los geosintéticos más utilizados en los sistemas de carreteras incluyen los geotextiles (tejidos y no tejidos) y las geomallas (biaxiales y multiaxiales), aunque en un buen número de proyectos también se han usado productos de control de erosión, geoceldas, georredes (o geocompuestos de drenaje) y geomembranas. Se puede hacer uso de estos diferentes tipos de geosintéticos para cumplir con una o más funciones específicas en una variedad de aplicaciones para carreteras. Por ejemplo, se han utilizado geosintéticos desde la década de 1970 para mejorar el comportamiento de caminos sin pavimentar sobre subrasantes blandas. A principios de los ochenta ya se echaba mano de geosintéticos para minimizar el agrietamiento reflectante en sobrecarpetas asfálticas y para mejorar el comportamiento de las capas de base.

La terminología utilizada en la bibliografía técnica para describir las distintas aplicaciones de geosintéticos en los sistemas de carreteras, así como sus funciones que corresponden a las diversas aplicaciones, no ha sido consistente. Esto es comprensible, ya que los mecanismos que conducen a la mejora de carreteras en las distintas aplicaciones son

complejos y a menudo están entrelazados. En consecuencia, un objetivo importante de este artículo es presentar un marco consistente para categorizar las diferentes aplicaciones y, de esta forma, minimizar inconsistencias con respecto a la terminología utilizada en el uso de geosintéticos en el diseño de carreteras.

El marco propuesto en el presente trabajo, aunque fuertemente basado en marcos utilizados actualmente para el diseño de geosintéticos (Koerner, 2012), sigue dos premisas claves: 1) las funciones de los geosintéticos inequívocamente corresponden a sus propiedades, y 2) las aplicaciones de los geosintéticos corresponden a diferentes tipos de proyectos que son implementados para alcanzar objetivos específicos de diseño. Las aplicaciones que involucran geosintéticos pueden requerir el uso de una única función o una combinación de las funciones de estos productos para desarrollar los mecanismos mecánicos o hidráulicos encaminados a mejorar el comportamiento de las carreteras.

En la figura 1 se muestra la sección transversal de una carretera asfaltada donde se indican las ubicaciones de las capas de geosintéticos que pueden ser utilizadas, así como

las diferentes funciones que cumplirían, entre las que se incluyen:

- Separación. El geosintético colocado entre dos capas de materiales disímiles las mantiene separadas para conservar su integridad y funcionalidad. Este término puede también referirse al alivio de tensiones que puedan ser transmitidas entre dos capas. Propiedades clave de diseño para llevar a cabo esta función son aquellas relacionadas con la supervivencia de los geosintéticos durante su instalación.
- Filtración. El geosintético permite flujo de líquido en forma transversal a su plano, reteniendo aguas arriba las partículas finas del suelo. Para cumplir esta función, la permitividad (conductividad hidráulica en la dirección perpendicular al plano del geosintético, por unidad de espesor) y los parámetros que caracterizan la distribución del tamaño de los poros del geosintético (como el tamaño de abertura aparente) son propiedades clave de diseño.
- Refuerzo. El geosintético desarrolla fuerzas de tracción destinadas a mantener o mejorar la estabilidad del compuesto suelo-geosintético. Una propiedad clave de diseño para llevar a cabo esta función es la resistencia a la tracción del geosintético.
- Rigidización. El geosintético desarrolla fuerzas de tracción destinadas a minimizar las deformaciones en el compuesto suelo-geosintético. Las propiedades clave de diseño para lograr esta función son aquellas utilizadas para cuantificar la rigidez del compuesto suelo-geosintético.
- Drenaje. El geosintético permite el flujo de líquido (o gas) en el plano de su estructura. Una propiedad clave de diseño para caracterizar esta función es la transmisividad (conductividad hidráulica en el plano del geosintético integrada por el espesor de éste).

A pesar de ser comparativamente menos comunes en aplicaciones para carretera, algunas funciones adicionales de los geosintéticos son:

- Barrera hidráulica (o de gas). El geosintético es utilizado para minimizar el flujo en la dirección normal a su plano, facilitando la contención de líquidos o gases. Algunas de las propiedades clave de diseño son las relacionadas con la durabilidad a largo plazo del material geosintético.
- Protección. El geosintético minimiza el daño de otros productos (por ejemplo, las geomembranas) con el fin de evitar perforaciones tales como las recurrentes de la instalación de capas subsecuentes. Son propiedades claves de diseño las que caracterizan la resistencia del geosintético a la punción.

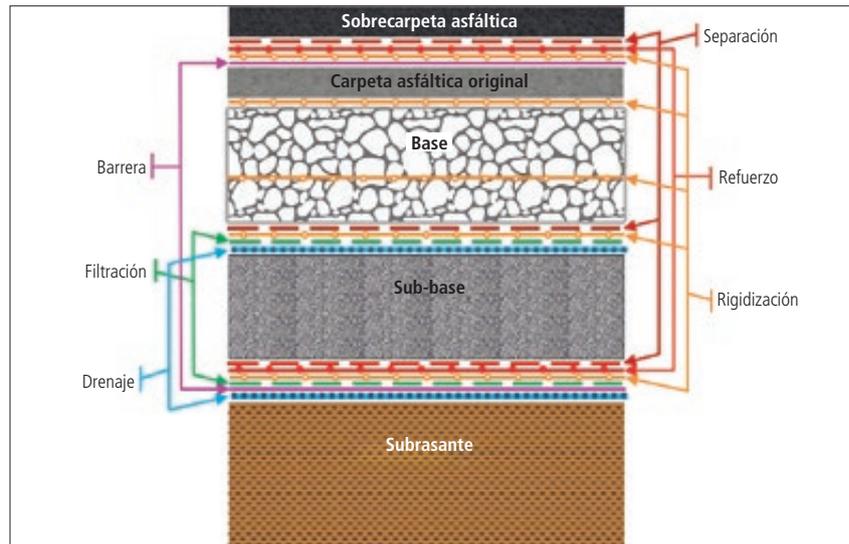


Figura 1. Múltiples funciones de los geosintéticos en aplicaciones para carreteras.

Seis de las siete funciones identificadas en esta lista han sido tradicionalmente consideradas en la bibliografía técnica (Koerner, 2012; Zornberg y Christopher, 2006). Sin embargo, en este trabajo se considera una séptima función: la rigidización. Esta adición es relevante para establecer una distinción clara entre los geosintéticos utilizados para desarrollar fuerzas de tracción destinadas principalmente a mejorar la estabilidad del sistema y aquellos en los que las fuerzas de tracción sirven primeramente para controlar las deformaciones del sistema. Aunque ambas funciones implican mejoras mecánicas, las propiedades requeridas para satisfacerlas pueden ser diferentes.

Una o más de las siete funciones mencionadas se utilizan para mejorar el comportamiento de carreteras en las seis aplicaciones que se presentan en este artículo. Éstas se limitan a aquellas en las que los geosintéticos son utilizados en la sección de una carretera. En consecuencia, no se incluyen aplicaciones de transporte relacionadas con mejoras que involucran otros componentes. Este tipo de aplicaciones, incluyendo desagüe de piedras, elementos de control de erosión y componentes para la gestión de aguas superficiales, son abordados por Holtz *et al.* (1997, 2008) y Zornberg y Thompson (2010).

2. ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

La estabilización de subrasante es la aplicación de geosintéticos en proyectos de carreteras para aumentar la capacidad portante de suelos blandos en la subrasante. En esta aplicación están involucradas las funciones de refuerzo, rigidización, separación y filtración; la primera conduce a un aumento de la capacidad portante, mientras la función de rigidización contribuye a disminuir la rodera (ahuellamiento) generado por deformación de la propia subrasante. Por consiguiente, la resistencia a la tracción y la rigidez del geosintético son propiedades de diseño claves en proyectos de estabilización de subrasante.

El geosintético se coloca en la interfaz entre la subrasante a ser estabilizada y la base granular sobreyacente. El geosintético generalmente también proporciona estabilización al material base que se sobrepone, aunque a través de otros mecanismos, como se discutirá subsecuentemente en este artículo. La estabilización de la subrasante involucra el desarrollo de deformaciones comparativamente elevadas en el geosintético, así como una rodera significativa, ambos fenómenos consistentes con los anticipados sólo en el caso de carreteras no pavimentadas; en cambio, la estabilización de la base involucra el desarrollo de deformaciones comparativamente bajas en los geosintéticos, consistentes con las desarrolladas en carreteras pavimentadas.

Como se ilustra en la figura 2a, la presencia de una subrasante con suelos blandos puede conducir al desarrollo de fallas de corte localizadas (punzonamiento) en los suelos de cimentación, lo que crea desplazamientos significativos en las diversas capas sobreyacentes de la carretera. Esto se ve exacerbado por un ángulo comparativamente estrecho de distribución de tensiones dentro de la capa de base, lo que a su vez resulta en una presión de contacto comparativamente alta en la parte superior de la capa de subrasante (Giroud y Han, 2004). La figura 2b ilustra el impacto que un geosintético con propiedades mecánicas adecuadas puede tener en la capacidad portante de los suelos en la subrasante. El geosintético actúa como una membrana tensionada, al menos parcialmente. Es decir, el geosintético desarrolla una forma cóncava, por lo que la tensión actuante incluye una componente vertical que resiste directamente la carga de rueda aplicada. Más importante aun, los desplazamientos verticales y la tensión inducida por membranas bajo el trayecto de rueda resultan en la movilización de tensiones de corte a lo largo de la interfaz suelo-geosintético más allá del trayecto de rueda. Esta tensión minimiza a su vez la tendencia a levantamiento de la subrasante (Giroud y

Han, 2004). En última instancia, la restricción vertical de la subrasante resulta en una sobrecarga que se aplica más allá del trayecto de rueda, la cual puede contribuir significativamente a una mayor capacidad portante en la subrasante. Se requieren deformaciones significativas (es decir, una gran profundidad de rodera), consistentes con las aceptables sólo en carreteras sin pavimentar, para movilizar este mecanismo. La estabilización de subrasante es particularmente relevante para proyectos en los cuales los valores de CBR en la subrasante son inferiores a 3 (Barksdale *et al.*, 1989). Además, la rigidización del material de base produce una distribución de tensión caracterizada por un ángulo comparativamente amplio, lo que conduce a una presión de contacto relativamente baja en la parte superior de la capa de subrasante. Este mecanismo cambia el tipo falla, de un mecanismo de cizallamiento localizado (punzonamiento) en una subrasante no estabilizada a uno de corte generalizado en una subrasante estabilizada.

A menudo se han aplicado geosintéticos en la estabilización de subrasante para facilitar la construcción. En suelos de subrasante extremadamente blandos, puede ser casi imposible iniciar la construcción de un terraplén o carretera sin estabilización. Los geosintéticos han demostrado ser una alternativa de bajo costo en relación con otros métodos de estabilización de suelos de cimentación, tales como control del nivel freático, excavación y sustitución con materiales granulares seleccionados, construcción de capas de base granular particularmente gruesas, o estabilización química (Perkins *et al.*, 2010; Christopher, 2014). La estabilización con geosintéticos permite a los contratistas alcanzar los requisitos de compactación mínima en la primera capa de material granular. Incluso en los casos en que la estabilización con geosintéticos se adopta para permitir la construcción inicial, su uso proveerá beneficios a largo plazo y mejoras en el comportamiento de la carretera durante su vida útil.

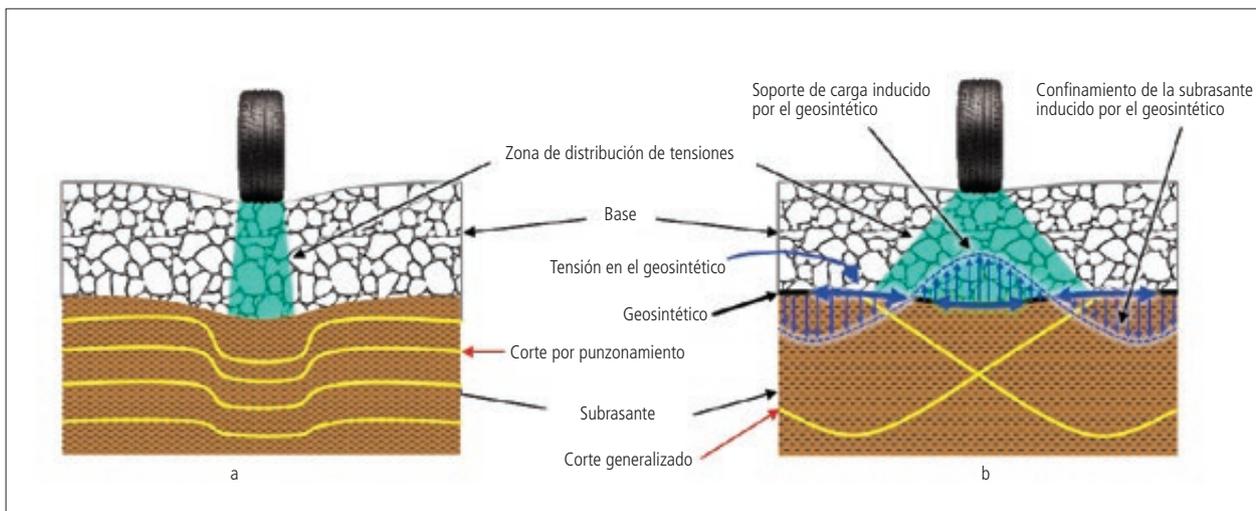


Figura 2. Uso de geosintéticos para estabilizar subrasantes: a) carretera diseñada sin geosintéticos, b) carretera diseñada con geosintéticos.

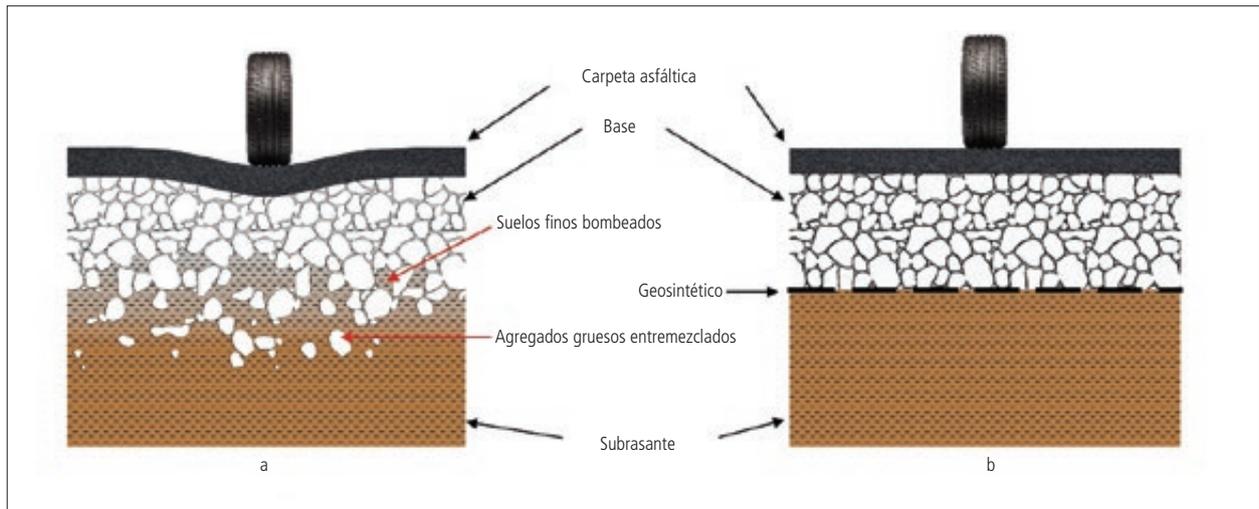


Figura 3. Uso de geosintéticos para reducir entremezclado de capas diferentes: a) carretera diseñada sin geosintéticos, b) carretera diseñada con geosintéticos.

3. REDUCCIÓN DEL ENTREMEZCLADO DE CAPAS DIFERENTES

Los geosintéticos se utilizaron originalmente en carreteras para cumplir con la función de separación. En este tipo de aplicación, un geosintético se coloca entre dos capas con suelos de diferentes distribuciones granulométricas. De hecho, una causa importante de falla de carreteras construidas sobre suelos blandos es la contaminación de los agregados de la base con el suelo blando de la subrasante que le subyace (véase figura 3a). La contaminación se produce debido a: 1) penetración del agregado de la base dentro de los suelos blandos en la subrasante subyacente debido a fallas de capacidad portante localizadas bajo las cargas inducidas por el tráfico, y 2) intrusión de los suelos finos de la subrasante en el agregado de la base, causada por el reblandecimiento y bombeo del suelo de subrasante debido la generación de presión de poro. La contaminación de la base resulta en capacidad estructural insuficiente, lo que conduce a menudo a fallas prematuras de la carretera. Un geosintético colocado entre las capas de subrasante y base puede actuar como un separador eficaz y prevenir el entremezclado de los suelos finos de la subrasante y el agregado de la capa de base.

Incluso una pequeña cantidad de finos que contamina el material granular de una capa de base puede afectar negativamente la respuesta estructural, incluyendo reducción de la resistencia al corte, disminución de la conductividad hidráulica y mayor susceptibilidad al congelamiento de suelos. En última instancia, un agregado contaminado con suelos finos se puede comportar esencialmente como los propios suelos de grano fino. En consecuencia, la contaminación conduce a una reducción del espesor efectivo de la capa de base, y finalmente a una disminución de la vida útil de la carretera. El uso de un geosintético como separador es relativamente barato y puede resultar en ahorros significativos de costos a lo largo de la vida útil de una carretera (véase figura 3b).

Entre los diferentes tipos de geosintéticos, los geotextiles se han utilizado para evitar el entremezclado de diferentes capas. Koerner (2012) y Holtz *et al.* (1997, 2008) proporcionan metodologías de diseño para el uso de geosintéticos en aplicaciones de reducción de entremezclado de capas.

4. DISMINUCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

La presencia de humedad en las capas de base, sub-base y subrasante de una carretera es perjudicial, pues compromete las propiedades mecánicas de los suelos. En la figura 4a se muestra el impacto en el comportamiento de una carretera causado por la disminución en el módulo de las capas de base y la subrasante, inducida por la presencia de humedad.

Una forma de cuantificar el impacto debido a cambios de humedad es su efecto sobre el número estructural (SN) del método de diseño propuesto por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 1993). Este método considera el pavimento como un sistema elástico multicapa, con un número estructural global que refleja el espesor total del pavimento y su resiliencia ante cargas repetidas de tráfico. El SN requerido para un proyecto se selecciona de manera que el pavimento soportará las cargas de tráfico esperadas y sufrirá una pérdida en su serviciabilidad que no exceda los requisitos del proyecto. El SN es penalizado por un coeficiente de drenaje, m , que representa las características de humedad de cada capa del pavimento. Esta penalización puede ser considerable, con valores para m que varían de 1.4 (para excelentes condiciones de drenaje) a 0.4 para condiciones de drenaje pobres. Dicho más directamente, la capacidad estructural de una carretera con condiciones de drenaje pobres es el 29% (es decir, la relación entre los coeficientes extremos) de la de una carretera con excelentes condiciones de drenaje. Los diseñadores a menudo pasan por alto la importancia del drenaje lateral (interno) en una carretera, y se centran en construir capas espesas de material de

alta calidad omitiendo el uso de sistemas de drenaje internos. Desafortunadamente, la humedad atrapada bajo un pavimento exacerbará su deterioro mediante el aumento de presiones de poro y el reblandecimiento de suelos de base y subrasante.

En la figura 4b se ilustra el uso de un geosintético con capacidad de drenaje interno en su plano. En esta imagen, se colocó un drenaje geosintético horizontal directamente bajo la carretera, el cual desvía lateralmente la humedad que pueda haber alcanzado la base a través de infiltración descendente resultado de la presencia de grietas en la carpeta asfáltica. El geosintético también puede minimizar la humedad en suelos de la subrasante subyacente, que puede haber alcanzado un alto grado de saturación, por ejemplo a través del ascenso capilar debido a la presencia de un nivel freático relativamente elevado.

Los geosintéticos convencionales de drenaje en plano incluyen los geocompuestos de drenaje (una combinación de georedes y filtros de geotextil) y geotextiles con alta transmisividad. Sin embargo, estos geosintéticos convencionales sólo pueden proporcionar drenaje lateral inducido por la gravedad, que es importante cuando el sustrato adyacente al geosintético ha alcanzado las condiciones de saturación. Con los avances en la fabricación de geosintéticos, tales como el desarrollo de geotextiles con drenaje lateral mejorado (ELD), también es posible el drenaje en condiciones de suelo no saturado. Zornberg *et al.* (2016) ponen de relieve el uso de ELD en una serie de situaciones de proyectos de carretera, incluyendo: 1) drenaje lateral mejorado de humedad migrando hacia arriba desde un alto nivel freático, 2) drenaje lateral mejorado de humedad infiltrándose hacia abajo desde la superficie, 3) control de daños causados por el congelamiento de suelos, 4) control de daños causados por la presencia de arcillas expansivas en la subrasante, y 5) drenaje lateral mejorado en proyectos de relativo mejoramiento de suelos de cimentación.

5. ESTABILIZACIÓN DE LA CAPA DE BASE

La estabilización de la capa de base se puede definir como la aplicación de geosintéticos en un proyecto carretero para mantener o aumentar la rigidez de los agregados en la capa de base. La rigidización es la función principal (y única) que conduce a la disminución de desplazamientos laterales dentro del compuesto suelo-geosintético de la capa de base y al aumento de confinamiento en él. Como se indicó anteriormente, las propiedades claves de diseño para cumplir con esta función incluyen aquellas que cuantifican la rigidez del material compuesto de suelo-geosintético.

Mientras que el geosintético podría ser colocado dentro de la capa de base, su colocación (para facilitar la constructibilidad) debe hacerse en la interfaz entre la base por ser estabilizada y la subrasante subyacente. Esta interfaz es también el lugar donde se colocan los geosintéticos para estabilizar la subrasante. En consecuencia, es posible que un geosintético utilizado para estabilización de base también sirva para estabilización de subrasante, lo cual ilustra un caso en el que un único geosintético puede ser utilizado para dos aplicaciones: estabilización de la subrasante (para aumentar la capacidad portante de la subrasante) y estabilización de la base (para controlar los desplazamientos laterales del material en la base y, en consecuencia, mantener una rigidez elevada). Sin embargo, la estabilización de subrasante implica la movilización de deformaciones comparativamente altas en el geosintético y el desarrollo de grandes profundidades de rodera. Por el contrario, la estabilización de la capa de base generalmente involucra la movilización de deformaciones más pequeñas en el geosintético, lo que requiere también un alto nivel de interacción entre el geosintético y el material de la capa de base sobreyacente. En la estabilización de la capa de base, el nivel de deformaciones es consistente con las profundidades de rodera pequeñas esperadas en carreteras pavimentadas.

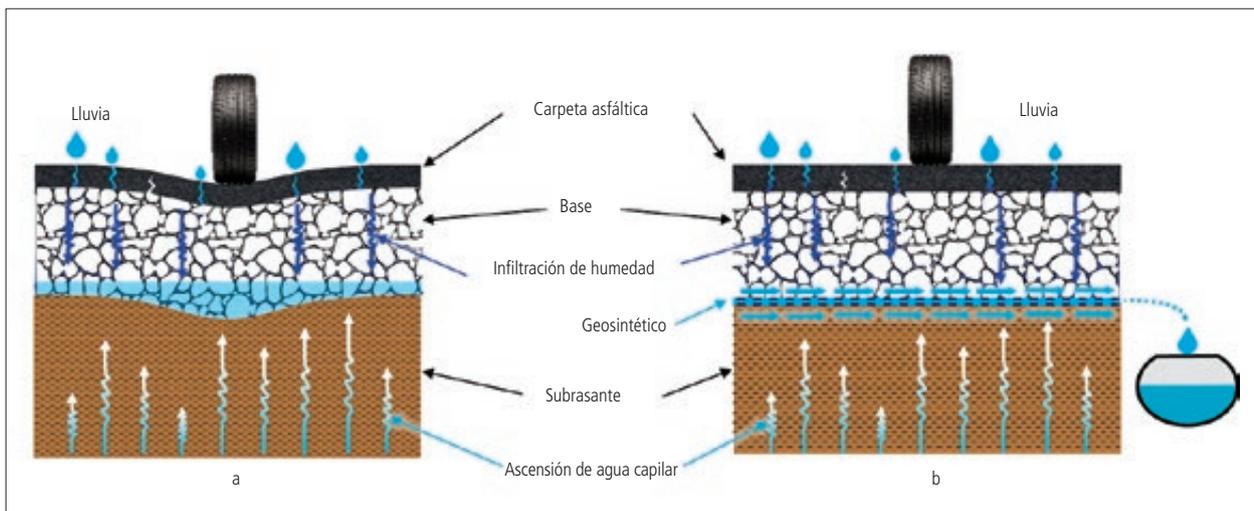


Figura 4. Uso de geosintéticos para disminuir el contenido de humedad: a) carretera diseñada sin geosintéticos, b) carretera diseñada con geosintéticos.

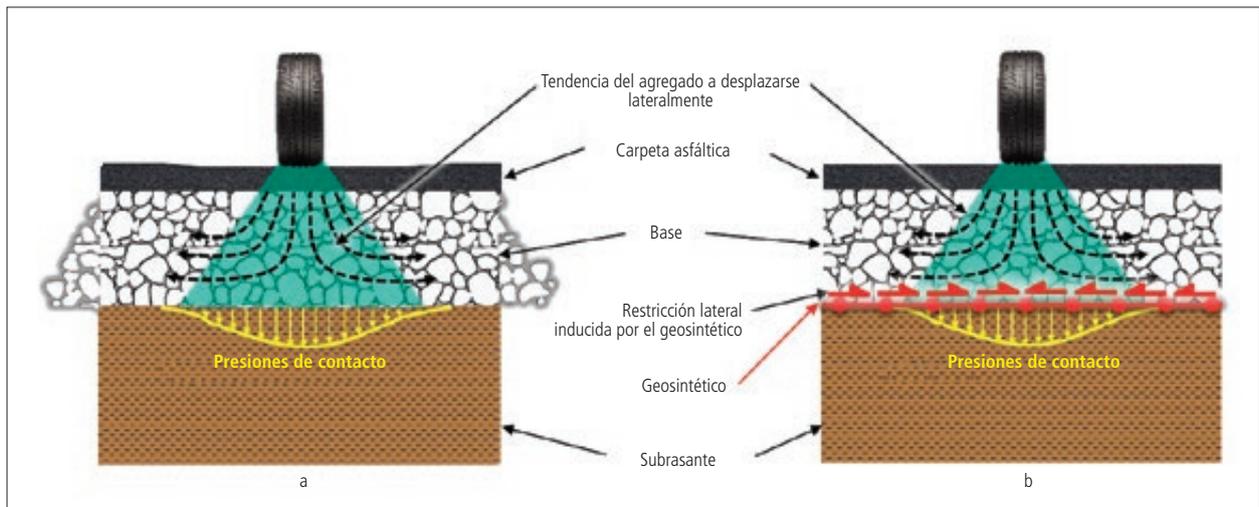


Figura 5. Uso de geosintéticos para estabilizar la base de carretera: a) carretera diseñada sin geosintéticos, b) carretera diseñada con geosintéticos.

Los desplazamientos laterales de las partículas del material granular que ocurren bajo la carga de tráfico repetido representan un mecanismo que degrada las propiedades mecánicas del agregado de la base.

Tal desplazamiento es de particular importancia en la porción inferior de la capa de base, directamente bajo el trayecto de la rueda, que es donde las tensiones de tracción son más propensas a desarrollarse. En la figura 5a se ilustran los desplazamientos laterales que pueden desarrollar los agregados dentro de la capa de base. Los desplazamientos resultan en una disminución de presiones laterales en el agregado (es decir, disminución de su confinamiento) que puede afectar significativamente el módulo del material de base. En un sistema de pavimento de múltiples capas, la característica principal de la capa de base es su alto módulo, que ensancha la distribución de las cargas verticales y en última instancia disminuye las presiones verticales máximas que actúan en la interfaz del contacto base-subrasante. La degradación del módulo original del material granular, inducida por el tráfico, resulta en el aumento de las presiones de contacto en la interfaz base-subrasante, y a la larga en profundidades altas de rodadura en carretera.

En la figura 5b se ilustra la restricción al desplazamiento lateral proporcionada por el geosintético. La interacción entre el agregado de base y el geosintético da como resultado una transferencia de tensiones de corte del material de base, e induce tensiones de tracción en el geosintético. Como consecuencia, se necesita una transferencia de corte alta a lo largo de la interfaz para estabilizar la capa de base. Además, la propia rigidez a la tracción del geosintético contribuye a limitar el desarrollo de deformaciones laterales. Zornberg *et al.* (2018) identificaron un parámetro, la rigidez del compuesto suelo-geosintético, que considera tanto la resistencia al corte de la interfaz suelo-geosintético como la rigidez del geosintético. El aumento en el confinamiento

que ofrece el geosintético en el material de la capa de base conduce a un aumento en las presiones confinantes, lo que lleva también a un aumento en la resistencia al corte del agregado. Las características tanto de fricción como de trabazón a lo largo de la interfaz suelo-geosintético contribuyen a la restricción lateral. Por lo tanto, cuando se utilizan geomallas, su abertura y el tamaño de partículas en la base deben seleccionarse adecuadamente. Por otro lado, cuando se utilizan geotextiles, la capacidad friccional de la interfaz debe ser adecuada. Como también se ilustra en la figura 5b, la mayor rigidez de la base estabilizada con geosintéticos resulta en una distribución de cargas verticales más amplia y en tensiones verticales menores actuando en el contacto base-subrasante.

6. MITIGACIÓN DE AGRIETAMIENTO REFLECTANTE EN SOBRECARPETAS ASFÁLTICAS

Una de las primeras aplicaciones de los geosintéticos en carreteras pavimentadas tuvo como propósito la prevención de agrietamiento reflectante en las sobrecarpetas asfálticas. El agrietamiento reflectante puede ocurrir en nuevas sobrecarpetas asfálticas en el punto donde ya se habían desarrollado grietas en el antiguo pavimento. Este fenómeno puede ser provocado por esfuerzos de flexión y corte inducidos por las cargas repetidas de tráfico, así como por esfuerzos de tracción causados por variaciones térmicas (Button y Lytton 2003). La figura 6a ilustra el desarrollo de esfuerzos directamente debajo de la carga de tráfico provocados por la flexión del pavimento. Tales tensiones pueden acabar causando agrietamiento reflectante que se propaga a través de la nueva sobrecarpeta asfáltica y la hace susceptible a falla prematura debido a la intrusión de humedad. Los geosintéticos se han utilizado para mitigar el desarrollo temprano de agrietamiento reflectante a través de una combinación de funciones, que incluyen refuerzo, separación (o protección)

y barrera (Montestruque, 2002). En consecuencia, el geosintético puede actuar de las siguientes formas:

- Desarrollando fuerzas de tensión en la proximidad de la punta de la grieta, lo que reduce tensiones y deformaciones en el material bituminoso. Esta función de refuerzo se consigue utilizando geomallas poliméricas, de acero o de fibra de vidrio.
- Creando una interfaz que permite deformaciones horizontales, de manera que puedan desarrollarse movimientos potencialmente grandes sin iniciar falla en el entorno de grietas preexistentes. Este mecanismo ha sido referido como alivio de tensiones, en general usando un geotextil no tejido impregnado en bitumen, y puede ser caracterizado como un despegue controlado.
- Proporcionando una barrera hidráulica para impermeabilizar la carpeta asfáltica, incluso después de la reaparición de grietas en su superficie. Este mecanismo también ha involucrado generalmente el uso de geotextiles no tejidos impregnados en bitumen.

El uso de un geosintético que cumple la función de refuerzo a lo largo de la interfaz entre la carpeta asfáltica antigua y una nueva sobrecarpeta asfáltica se puede observar en la figura 6b, que ilustra las fuerzas de tensión en el geosintético que pueden detener la progresión del agrietamiento reflectante. Montestruque (2002) llevó a cabo pruebas de laboratorio sobre vigas de concreto asfáltico, reforzadas y no reforzadas, para investigar el uso de geosintéticos en sobrecarpetas asfálticas. Los resultados indicaron un claro mejor comportamiento de los especímenes reforzados. Más recientemente, Correia y Zornberg (2015) indican que el uso de geosintéticos como refuerzo en sobrecarpetas asfálticas no sólo puede mitigar el desarrollo de agrietamiento reflectante, sino que también puede aumentar la capacidad estructural de las carpetas asfálticas.

7. MITIGACIÓN DE DETERIOROS ORIGINADOS POR ARCILLAS EXPANSIVAS (CARGAS AMBIENTALES)

La presencia de arcillas expansivas en la subrasante provoca un deterioro altamente perjudicial en carreteras debido a cargas ambientales. El deterioro típico de carreteras fundadas sobre arcillas expansivas es el desarrollo de grietas longitudinales causadas por cargas ambientales. Los mecanismos que conducen al desarrollo de semejantes grietas están relacionados con las tensiones de tracción inducidas por la flexión del pavimento debido a los asentamientos que ocurren durante

las estaciones de sequía, como se ilustra en la figura 7a. Durante sequías, la humedad del suelo en la subrasante disminuye en las proximidades de las hombreras del pavimento, lo cual conduce a asentamientos en la zona de las hombreras que no ocurren en las proximidades de la línea central de la carretera, donde el contenido de humedad del suelo permanece aproximadamente constante durante toda la estación de sequía. Por otro lado, durante la temporada de lluvias aumenta el contenido de humedad del suelo en las proximidades de las hombreras del pavimento, lo que provoca un levantamiento de éstas en relación con la línea central de la carretera.

De manera similar al caso de la estabilización de base, se han utilizado geosintéticos para mantener la integridad de los materiales de la base granular y, en consecuencia, de las capas estructurales sobreyacentes de una carretera. La rigidización es la principal función que conduce a la restricción de desplazamientos laterales dentro del compuesto suelo-geosintético en la capa de base (y al aumento de su confinamiento). Mientras que el geosintético podría ser colocado dentro de la capa de base, la ubicación típica de colocación para facilitar la construcción ha sido la interfaz entre la base y la subrasante. Como se estableció antes, esta es también la ubicación de los geosintéticos para estabilizar la subrasante. En consecuencia, es posible que un geosintético utilizado para minimizar el deterioro causado por cargas ambientales también pueda servir para estabilizar la subrasante de la carretera.

Como en el caso de la estabilización de base, los desplazamientos laterales de los agregados de la base que ocurren bajo la carga de tráfico repetido llevan a la degradación de las propiedades mecánicas del material de base granular. Tales desplazamientos son particularmente relevantes en la porción inferior de la capa de base, directamente por debajo

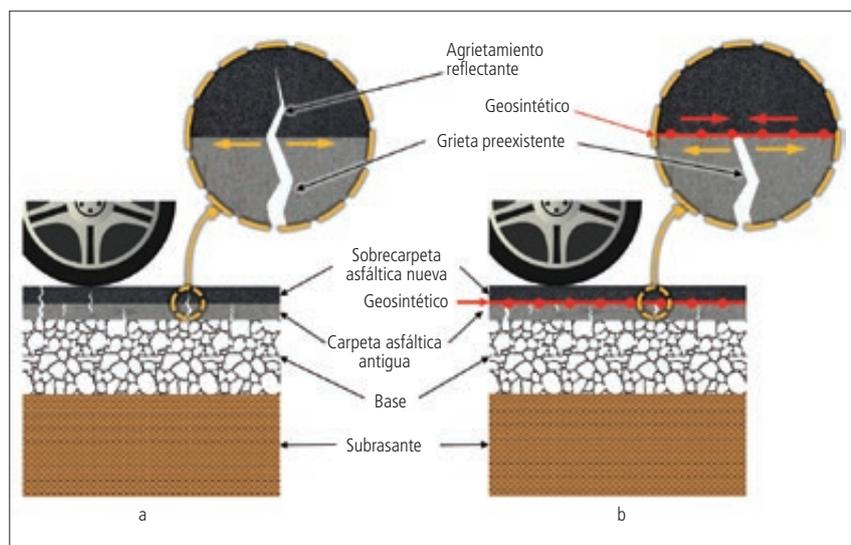


Figura 6. Uso de geosintéticos para mitigar agrietamiento reflectante en las sobrecarpetas asfálticas: a) carretera diseñada sin geosintéticos, b) carretera diseñada con geosintéticos.

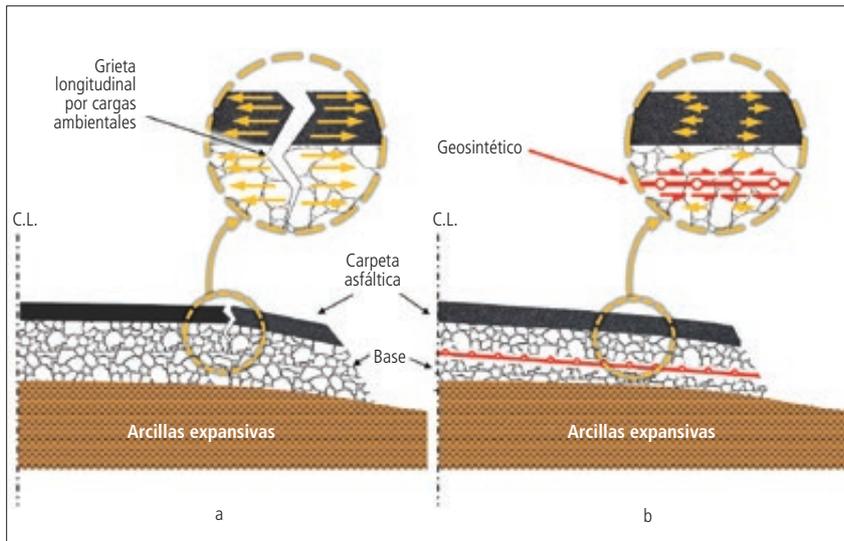


Figura 7. Uso de geosintéticos para mitigar el deterioro causado por arcillas expansivas: a) carretera diseñada sin geosintéticos, b) carretera diseñada con geosintéticos.

del trayecto de la rueda, donde las tensiones de tracción son más propensas a desarrollarse.

Se requiere un geosintético con alta rigidez y adecuada interacción con el material de base para mitigar el deterioro causado por cargas ambientales. Como en el caso de la estabilización de base, la rigidez del compuesto suelo-geosintético, que considera tanto la resistencia al corte de la interfaz suelo-geosintético como la rigidez del geosintético, fue identificada como un parámetro que se correlaciona bien con la mejora del comportamiento en carreteras sujetas a cargas ambientales (Zornberg *et al.*, 2010). El aumento en el confinamiento proporcionado por el geosintético al material de la capa de base mantiene la integridad de la capa de base (véase figura 7b). Tanto las características friccionales como la trabazón desarrollada en la interfaz entre el suelo y el geosintético contribuyen a la restricción lateral.

8. CONSIDERACIONES FINALES

Este artículo presenta un marco para clasificar las diferentes aplicaciones de geosintéticos en proyectos de carreteras. Una o más de las siete funciones mencionadas se utilizan para mejorar el comportamiento de carreteras en las seis siguientes aplicaciones: 1) estabilización de la subrasante, 2) reducción del entremezclado de capas diferentes, 3) disminución del contenido de humedad, 4) estabilización de la capa de base, 5) mitigación de agrietamiento reflectante en sobrecarpetas asfálticas y 6) mitigación de deterioros originados por arcillas expansivas (cargas ambientales).

Las ventajas de incorporar geosintéticos en cada una de estas aplicaciones son significativas, y las opciones de incorporar geosintéticos deben ser siempre consideradas, ya que su uso generalmente involucra soluciones no sólo de mejor comportamiento, sino también más económicas y sostenibles 🌱

Referencias

- Barksdale, R. D., S. F. Brown y F. Chan (1989). Potential benefits of geosynthetics in flexible pavement systems. National Cooperative Highway Research Program Report No. 315. Washington: Transportation Research Board, National Research Council.
- Button, J. W., y R. L. Lytton (2003). Guidelines for using geosynthetics with HMA overlays to reduce reflective cracking. Report 1777-P2. Proyecto número 0-1777. Austin: Texas Department of Transportation.
- Christopher, B. R. (2014). Cost savings by using geosynthetics in the construction of civil works projects. *Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics*. Berlín (CD-ROM).
- Correia, N. S., y J. G. Zornberg (2015). Mechanical response of flexible pavements enhanced with geogrid-reinforced asphalt overlays. *Geosynthetics International*, 23(3): 183-193.
- Giroud, J. P., y J. Han (2004). Design method for geogrid-reinforced unpaved roads, I. Development of design method & II. Calibration and applications. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 130(8): 775-797.
- Holtz, R. D., B. R. Christopher y R. R. Berg (1997). *Geosynthetic engineering*. Richmond, British Columbia: Bitech Publishers.
- Holtz, R. D., B. R. Christopher y R. R. Berg (2008). Geosynthetic design and construction guidelines. Reporte FHWA-NHI-07-092. Washington: US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Koerner, R. M. (2012). *Designing with geosynthetics*. 6ª ed. Vols. 1 y 2. Xlibris Corporation.
- Montestruque, G. (2002). Contribution to the development of a design method to retrofit pavements using geosynthetics in anti-reflexion cracks. Disertación para obtener el grado de doctor. Aeronautic Institute, Brazil.
- Perkins, S. W., B. R. Christopher, N. Thom, G. Montestruque, L. Korkiala-Tanttu y A. Want (2010). Geosynthetics in pavement reinforcement applications. *Proceedings of 9th International Conference on Geosynthetics*. Vol. 1: 165-192. Guarujá.
- Zornberg, J.G., y B. R. Christopher (2006). Chapter 37: *Geosynthetics*. En: Delleur, J. *The handbook of groundwater engineering*, 2a ed. Boca Ratón: CRC Press.
- Zornberg, J. G., y N. Thompson (2010). Guide for the application and selection of geotextiles. Doc. 0-5812-P1. Austin: Center for Transportation Research.
- Zornberg, J. G., R. Gupta y J. A. Z. Ferreira (2010). Field performance of reinforced pavements over expansive clay subgrades. *Proceedings of the 9th International Conference on Geosynthetics*. Vol. 3: 1481-1484. Guarujá.
- Zornberg, J. G., M. Azevedo, M. Sikkema y B. Odgers (2016). Geosynthetics with enhanced lateral drainage capabilities in roadway systems. *Geosynthetics in Transportation Geotechnics. Proceedings of Workshop 1, 3rd International Conference on Transportation Geotechnics*: 19-20. Guimaraes.
- Zornberg, J. G., G. H. Roodi y R. Gupta (2018). Stiffness of soil-geosynthetic composite under small displacements: I. Model development, closure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(11).

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo. Escríbanos a geotecnia@heliosmx.org