



SPECTRA®

SISTEMA DE MEJORAMIENTO DE CARRETERAS

RESUMEN GENERAL
DEL SISTEMA




Tensor
INTERNATIONAL

El sistema Spectra le debe su resistencia y durabilidad a las geomallas TriAx®, las mallas de refuerzo geosintéticas patentadas por Tensar. Una vez incorporado a la capa estabilizada en forma mecánica de un pavimento flexible, el sistema Spectra proporciona el nivel de desempeño deseado.



La necesidad de innovar en carreteras pavimentadas

Los procedimientos convencionales de construcción presentan nuevos desafíos a los ingenieros, contratistas y propietarios de pavimento, debido a las fluctuaciones de los costos de los materiales y de su disponibilidad. Los presupuestos de construcción son evaluados constantemente a fin de conseguir un producto final de la más alta calidad por la menor cantidad de dinero posible. Es así que la instalación de una “típica sección de pavimento” les está costando a muchos propietarios bastante tiempo y dinero debido a una serie de factores:

- Volatilidad de los precios del asfalto y del agregado triturado
- Baja disponibilidad de material de pavimentación debido a la escasez de suministros
- Acortamiento de la vida útil del pavimento por el aumento del tránsito, la estructura deficiente del pavimento, la reducción del presupuesto de mantenimiento, etc.

Estos factores han llevado a que quienes toman las decisiones en este ámbito pongan en duda las evaluaciones de rendimiento y las estrategias convencionales en las que anteriormente se basaban para evaluar los proyectos y establecer sus prioridades.

Hoy en día, hay una necesidad de innovar en las estructuras de pavimentación. Cada vez más profesionales del transporte se inclinan hacia los diseños que incorporan el Sistema de mejoramiento de carreteras Spectra® de Tensar International Corporation, actualizado recientemente.

El Sistema Spectra ofrece un diseño y unos materiales que lo convierten en uno de los más utilizados en la industria a la hora de crear estructuras de pavimento estabilizadas mecánicamente, y ahora incluye también una geomalla de refuerzo triangular de vanguardia: TriAx® de Tensar®.

Tecnología de avanzada

En conjunto con los servicios de ingeniería y diseño, herramientas de análisis de costos y asistencia en sitio del sistema Spectra, la geomalla TriAx brinda una solución sencilla, confiable y accesible en la construcción de pavimento flexible, que ofrece un bajo costo de colocación y valor a largo plazo.

La geomalla TriAx ofrece un mejor desempeño comprobado para carreteras pavimentadas gracias a:

- Una reducción del espesor de los componentes del pavimento (asfalto, base de agregado y sub-base granular)
- Una colocación más simple
- Una disminución de los costos de mantenimiento a largo plazo

La geomalla TriAx permite crear estructuras de ingeniería durables y de buena relación costo-beneficio gracias a la estructura y el rendimiento excepcionales del producto.



Estructuras de pavimento inadecuadas: a) agrietado tipo piel de cocodrilo; b) agrietado en bloque; y c) fragmentación a causa de humedad excesiva dentro de la estructura.



Sistema Spectra®: Disminución de los costos de construcción y de la necesidad de mantenimiento a largo plazo

Diseño de pavimento económico

El sistema Spectra® con geomalla TriAx® de Tensar® está avalado por años de investigación en laboratorio, pruebas a escala real y experiencia práctica en el área. Varios estudios e instalaciones a nivel mundial demuestran que la capa base estabilizada mecánicamente del sistema Spectra proporciona un mayor soporte al pavimento y una mejor distribución de la carga. Estas características implican dos grandes ventajas para los diseñadores de pavimento:

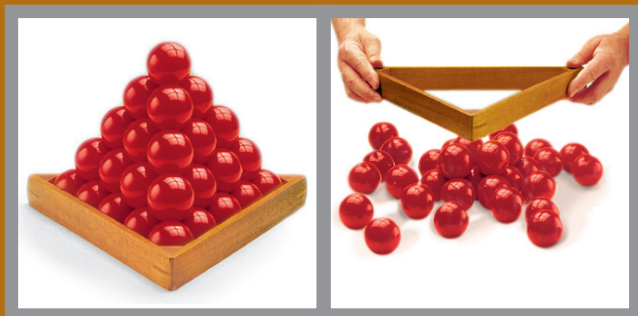
- **Costos iniciales más bajos:** Según estudios a escala real, se puede lograr una reducción significativa en el espesor de los componentes del pavimento con el sistema de mejoramiento de carreteras Spectra:
 - Reducción de la capa de asfalto: entre 15 y 30%
 - Reducción de la capa de agregado: entre 25 y 50%

El ahorro se refleja en la menor utilización de materia prima y en los costos de acarreo y colocación. (Ver el ejemplo de disminución de costos de construcción en la página 15).

- **Disminución de los costos de ciclo de vida:** Gracias a las propiedades excepcionales de las geomallas TriAx, el sistema Spectra proporciona a los ingenieros, contratistas y propietarios una estructura de pavimento cuya vida útil puede llegar a extenderse hasta un 500%. Esto implica un menor mantenimiento e intervalos de rehabilitación más largos, con lo cual disminuyen los costos de ciclo de vida con respecto a los sistemas convencionales. (Ver el ejemplo de disminución de costos de ciclo de vida en la página 16).

Estas mejoras en el rendimiento fueron comprobadas por el monitoreo de pavimento a escala real construido sobre una serie de subrasantes (según los valores CBR) y con distintos espesores de asfalto. Es por eso que las ventajas que ofrece el Sistema de mejoramiento de carreteras de Spectra son válidas para la mayoría de los distintos tipos de pavimento, desde caminos rurales y playas de estacionamiento de bajo volumen que soportan cargas livianas, pasando por carreteras de alto volumen, hasta pavimentos industriales que soportan cargas pesadas.





De la misma manera que el triángulo mantiene unidas las bolas de billar, la geomalla TriAx® de Tensar® confina las partículas de agregado arriba, en el medio y abajo del plano de refuerzo.

Mecanismos clave: contención lateral y distribución de la carga

Las estructuras de pavimento flexible suelen presentar fallas antes de lo esperado debido al desplazamiento lateral y vertical progresivo y al debilitamiento de la capa base de agregado. Por otra parte, las capas de asfalto se agrietan por desgaste a causa del transporte continuo de cargas y de los ciclos térmicos. Estos factores contribuyen a que se produzca un ahuellamiento y agrietamiento que se propaga por la capa de asfalto, cemento y concreto (ACC).

Si la subrasante es relativamente firme, la capa de geomalla TriAx® de Tensar® sirve para mantener unidas las partículas de la capa base de agregado. Este confinamiento permite preservar la capacidad estructural, y se ha comprobado que mejora el desempeño del sistema de pavimento. Si la subrasante es débil, se puede colocar una capa adicional de agregado y de geomalla TriAx de Tensar a fin de fortalecerla antes de colocar la capa base reforzada con una geomalla.

La contención lateral es la clave de la rigidez del agregado

Según una publicación técnica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.E. U.U., la particular estructura de las geomallas brinda un alto grado de rigidez planar mediante un mecanismo que se conoce como contención lateral.

Este tipo de contención, considerado como el principal mecanismo de refuerzo de los tres mecanismos descritos en el documento del Cuerpo de Ingenieros, se basa en la capacidad de mantener las partículas del agregado dentro del plano de la geomalla (ver Figura 1). Como las capas de base granulares se consideran materiales que dependen de la presión, el confinamiento que brindan las geomallas rígidas y bien diseñadas aumenta el módulo del material de la base. Se mantiene la rigidez de la estructura tanto arriba como abajo de la geomalla cuando se instala dentro de una capa de relleno granular. Como consecuencia, aumenta el módulo de la capa reforzada en su totalidad. Cuando la estructura del pavimento es más delgada, se produce una reducción de la tensión vertical en la parte superior de la subrasante, mientras que cuando el pavimento es más grueso, la tensión en la interfaz de agregado y asfalto se reduce significativamente. Por medio del eficaz mecanismo de confinamiento lateral exclusivo de las geomallas TriAx de Tensar, se puede optimizar el espesor del material tanto para las secciones de pavimento flexible que soportan cargas livianas como para las de cargas pesadas. Consulte la Figura 2 para ver una ilustración de este mecanismo clave.



Figura 1 El confinamiento lateral del agregado reforzado con la geomalla TriAx de Tensar se ilustra a partir del ejemplo de la caja de rocas.

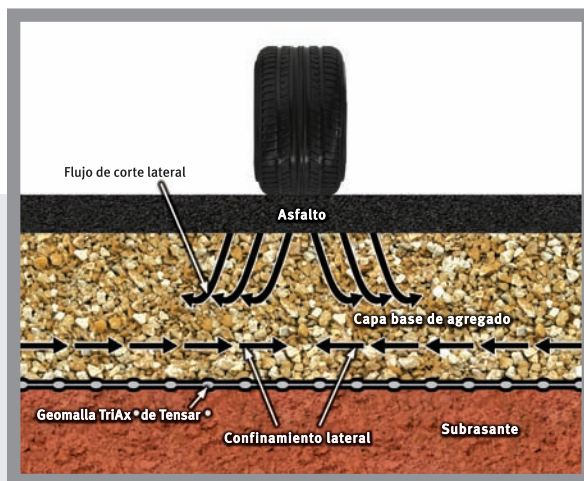


Figura 2 Sistema de contención lateral de la geomalla TriAx dentro de una sección de pavimento flexible.

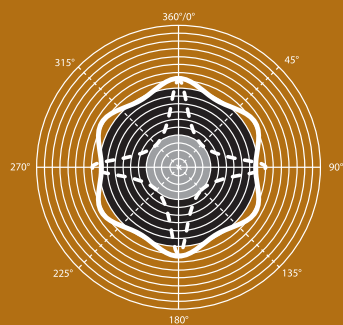


Figura 5

- Rigidez mínima de las geomallas biaxiales de Tensar
- Rigidez mínima de las geomallas TriAx de Tensar
- Rigidez de las geomallas biaxiales de Tensar
- Rigidez de las geomallas TriAx de Tensar

Los resultados de las pruebas de tensión indican que la estructura triangular de la geomalla TriAx proporciona una rigidez planar cuasi isotrópica, cualquiera que sea el sentido en que se mida.

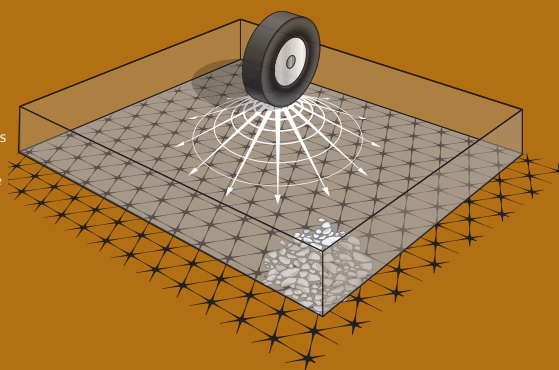


Figura 6

La geomalla TriAx® de Tensar® está diseñada para distribuir mejor los esfuerzos radiales que provienen del tráfico vehicular convencional. Su estructura triangular y el perfil eficaz de las costillas hacen de ella una geomalla superior a la geomalla Biaxial (BX) de Tensar.

Mejoramiento de la capacidad portante: el efecto zapato de nieve

El mejoramiento de la capacidad portante, que suele estar relacionado con el uso de una geomalla sobre subrasantes blandas en aplicaciones sin pavimento, es el resultado de un cambio en el modo de fallas críticas de la subrasante desde un corte localizado, que se caracteriza, en general, por una falla de ahuellamiento profundo, hasta una falla de capacidad portante general. Así se logra un eficaz mejoramiento de la capacidad portante de la subrasante, como consecuencia de la disipación de la presión en la interfaz de la subrasante con la geomalla (Figura 3). En general, este sistema se implementa en las superficies sin pavimentar en las que se requiere una estabilización con el fin de obtener una superficie de trabajo estable. Sin embargo, también se aplica a estructuras pavimentadas, en particular, a las estructuras de pavimento flexibles reforzadas con una geomalla en la interfaz entre subrasante y agregado.

La fatiga suele asociarse con el desplazamiento del asfalto y el agregado cerca de la superficie del pavimento. Por el contrario, el ahuellamiento es casi siempre resultado del

movimiento del suelo de la subrasante mientras la estructura está en servicio. Es así que el mejoramiento de la capacidad portante, fenómeno conocido como el “efecto zapato de nieve” (Figura 4), es de gran importancia, ya que el soporte de la subrasante controla eficazmente la duración de la estructura del pavimento en pavimentos relativamente delgados colocados sobre suelos blandos.

Propiedades y mecanismos exclusivos relacionados con las geomallas TriAx® de Tensar®

Las geomallas TriAx® de Tensar® fueron desarrolladas con un propósito específico: brindar un mejor desempeño y una mejor relación costo-beneficio en comparación con todas las geomallas disponibles actualmente en el mercado. En la Figura 5 se establece una comparación entre la rigidez de tensión de una geomalla TriAx de Tensar y una geomalla Biaxial de Tensar®. En la geomalla Biaxial la rigidez es alta en los dos sentidos ortogonales, pero significativamente inferior en el medio. Por el contrario, las aperturas triangulares exclusivas de la geomalla TriAx de Tensar garantizan una rigidez de tensión alta en todos los sentidos. Según estudios sobre el tema, esfuerzos radiales significativos tienen lugar bajo el transporte vehicular de cargas en movimiento (Figura 6). Por lo tanto, no sorprende que la geomalla TriAx de Tensar ofrezca un rendimiento altamente superior al de la geomalla Biaxial de Tensar en pruebas comparativas de pavimento.

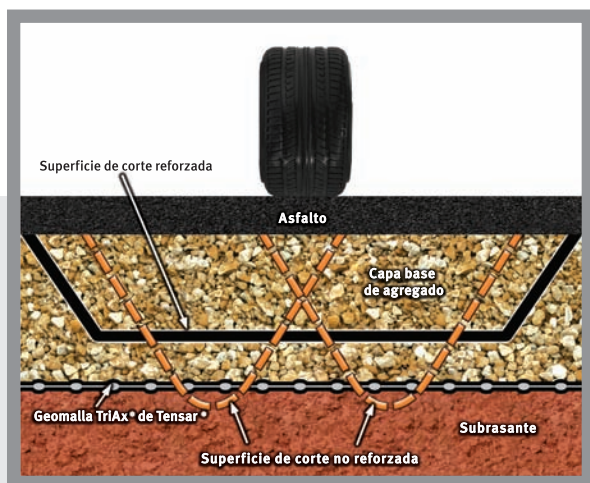
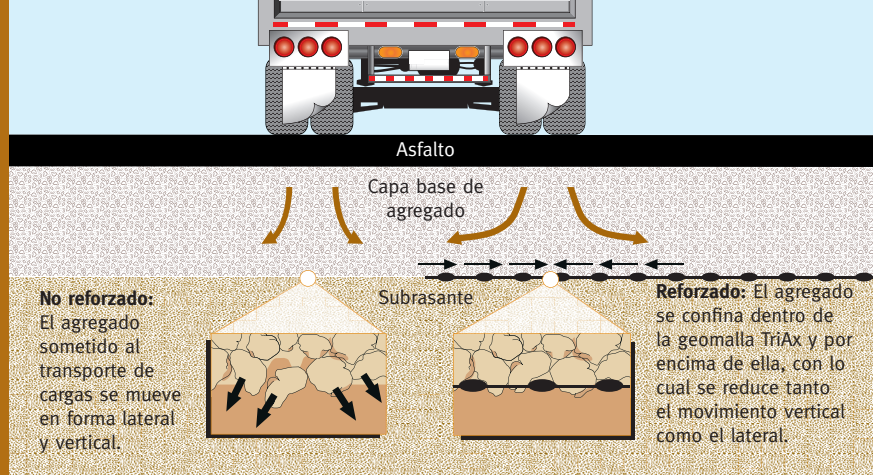


Figura 3 Sistema de mejoramiento de la capacidad portante a partir de la inclusión de la geomalla TriAx de Tensar en la interfaz de subrasante de la capa base de agregado.



Figura 4 Del mismo modo que un zapato de nieve distribuye el peso sobre la nieve blanda, la geomalla TriAx de Tensar confina el agregado para lograr una mejor distribución de las cargas en servicio sobre las subrasantes blandas.

El sistema Spectra prolonga la vida de una carretera mediante la introducción de una capa mecánicamente estabilizada dentro de la estructura pavimentada.



Soluciones en pavimento: características de la geomalla TriAx® de Tensar®

Los sistemas con pavimento flexible a menudo presentan fallas antes de lo esperado debido al desplazamiento lateral progresivo y al debilitamiento de la capa base de agregado. Además, aquellas secciones que no cuentan con un soporte de base adecuado se deformarán en forma gradual debido a la canalización del tránsito mientras el pavimento esté en uso. Esto provocará ahuellamiento y fatiga del asfalto, que finalmente producirá grietas en la superficie del pavimento. El sistema Spectra® con la geomalla TriAx® de Tensar® ofrece una capa estabilizada mecánicamente dentro de la base de agregado o de la subbase granular, con lo que se mantiene la capacidad estructural y se mejora el desempeño a largo plazo del sistema de pavimento.

En las estructuras de pavimento flexible, las geomallas TriAx de Tensar suelen utilizarse para reforzar la capa base de agregado que está inmediatamente debajo del asfalto, el cemento y el concreto. Sin embargo, donde hay subrasantes débiles conviene incluir una capa granular adicional a fin de obtener una superficie de trabajo estable antes de construir la estructura de pavimento principal. Bajo tales circunstancias, puede que sea necesario colocar una segunda capa de geomalla TriAx de Tensar dentro de esta capa de agregado libre que se encuentra más abajo (Figura 7).

Reducción del espesor de los componentes

Según investigaciones y pruebas a escala real, la geomalla TriAx puede reducir el espesor de la base o de la subbase de agregado hasta un 50%, para determinadas condiciones de tránsito.

Siempre se había pensado que el refuerzo de una geomalla permitía optimizar el espesor de las capas granulares solamente en instalaciones de pavimento flexibles. Sin embargo, tal como se demostró mediante investigaciones recientes a escala real, gracias a la mayor rigidez de la capa base subyacente de agregado estabilizada mecánicamente en el sistema Spectra, con la geomalla TriAx de Tensar también se puede reducir el espesor requerido del asfalto, el cemento y el concreto superiores. Según los datos disponibles actualmente, para las estructuras de pavimento comunes, se calcula que el espesor del asfalto puede reducirse hasta 30%.

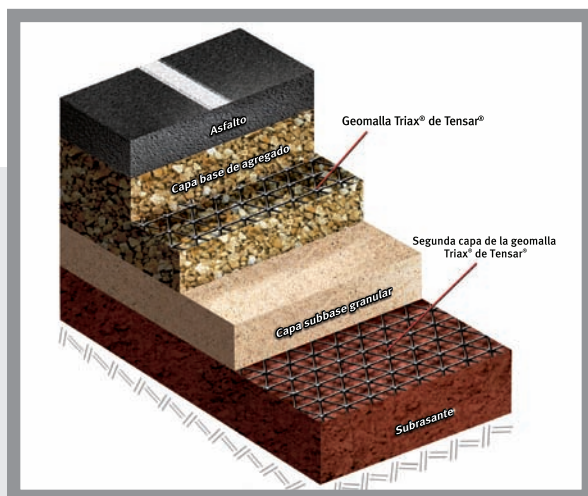
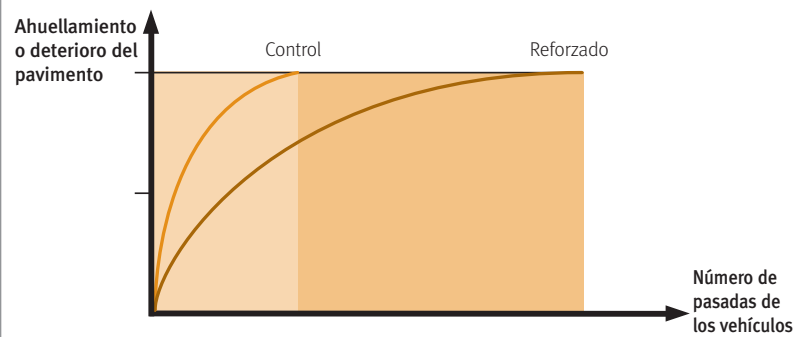


Figura 7 El sistema Spectra puede llegar a incluir una segunda capa de la geomalla TriAx de Tensar.



Extensión de la vida útil del pavimento mediante el sistema Spectra.



Mayor duración del pavimento

A la hora de cuantificar la extensión de la vida útil del pavimento a través del menor ahuellamiento de la superficie, es necesario tener en cuenta una medición relativa del deterioro del pavimento. La Asociación Estadounidense de Funcionarios de Autopistas Estatales y Transporte (AASHTO)² define ese parámetro como el índice tráfico-beneficio (TBR). Se trata del índice de ciclos hasta rotura en una sección de pavimento reforzada con geomalla, con relación a una sección no reforzada de igual espesor. De acuerdo con pruebas a escala real independientes realizadas por una serie de entidades de investigación, el índice TBR puede variar de manera significativa según el espesor del pavimento, el soporte de la subrasante y el tipo de refuerzo de geomalla utilizado.

La AASHTO proporciona más información sobre cómo cuantificar las ventajas que implica la utilización del refuerzo con geomallas en las estructuras pavimentadas.³ En ese documento, se indica que los datos de la sección de prueba son necesarios para cuantificar los beneficios en cuanto al rendimiento (según valores TBR) que se atribuyen a un determinado tipo de geomalla. Se han llevado a cabo pruebas exhaustivas a escala real, tanto en laboratorios como prácticas, sobre el uso de las geomallas de Tensar en la construcción de pavimento en los últimos 25 años. Por todo eso, un diseñador de pavimento puede estar seguro de la precisión de la cuantificación de los beneficios atribuidos a las geomallas de Tensar en cuanto al rendimiento.

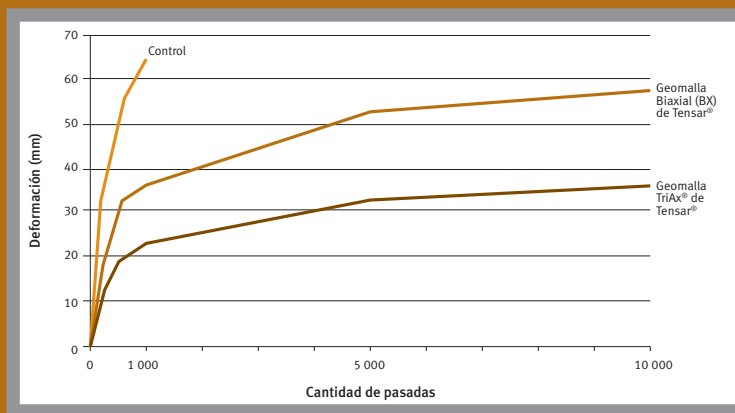
Una mayor solidez del agregado a largo plazo implica un menor mantenimiento del asfalto

En las estructuras de pavimento convencionales, en las que la capa de agregado libre (capa base) suele sufrir “ablandamiento por tensión” al verse sometida a cargas constantes, esta capa comienza a quebrarse, con lo cual disminuye su rigidez. Bajo estas circunstancias, el nivel de soporte a la/s capa/s de pavimento superior/es también disminuye y, en general, provoca un esfuerzo y una tensión lateral adicionales en la base del asfalto.

Se ha demostrado a partir de la implementación de secciones de prueba reforzadas con geomalla a escala real que la geomalla TriAx® de Tensar® no sólo aumenta la rigidez de la capa de agregado, sino que también esa mayor rigidez se mantiene a lo largo de toda la duración prevista de la estructura de pavimento. Este concepto suele describirse como la “generación de esfuerzo residual dentro de la estructura de pavimento”. Desde el punto de vista del propietario, esto da como resultado una mayor duración del pavimento y un costo de mantenimiento inferior.

Este uso de la tecnología de geomallas no se limita sólo a las estructuras de pavimento que deben soportar cargas relativamente livianas. Se han emprendido varios proyectos, con los que se demostró que las capas estabilizadas mecánicamente también pueden brindar las mismas ventajas en estructuras de pavimento más gruesas y más exigidas, donde el asfalto, el cemento y el concreto sobrepasan las 6” (15 centímetros).





A partir de las pruebas a escala pequeña realizadas con ruedas, se pudo obtener una primera confirmación de que la geomalla TriAx supera en rendimiento a la geomalla Biaxial de Tensar.

Investigación: Datos significativos que permiten evaluar las ventajas de la geomalla TriAx® de Tensar®

El sistema Spectra ha sido utilizado durante años por la Administración Federal de Autopistas (FHWA), las oficinas de transporte estatales, agencias municipales y de condados, así como también por propietarios y emprendedores particulares. Su valor en cuanto a la estructura y a los beneficios económicos que brinda ha sido sólidamente demostrado tanto en instalaciones con pavimento como sin él. Muchas de esas mismas entidades destinaron fondos a la realización de pruebas para cuantificar por sí mismas las ventajas del refuerzo con geomallas en instalaciones de pavimento. Dado que los presupuestos para proyectos de construcción se ajustan cada vez más año tras año debido al aumento de los costos de los materiales y a las caídas en la recaudación, tanto los organismos públicos como los emprendedores particulares buscan la manera de invertir en proyectos de pavimento que rindan y duren más. De todos modos, la relación costo-beneficio de una innovación como la geomalla TriAx® de Tensar® debe estar corroborada por datos contundentes, obtenidos mediante investigaciones y experiencias prácticas.

¿La geomalla TriAx da mejores resultados que la geomalla Biaxial de Tensar?

Sí. A fin de poder evaluar al máximo las ventajas potenciales de la geomalla TriAx de Tensar en las instalaciones de pavimento, Tensar International hizo una inversión importante en investigación durante la fase de desarrollo de esta nueva tecnología. El equipo de desarrollo de productos de Tensar enfrentó el desafío de producir una tecnología que ofreciera una mejor relación costo-beneficio al usuario final y superara al producto que mantuvo el nivel más alto de desempeño de geomallas en instalaciones con y sin pavimento durante más de 25 años: la geomalla BX de Tensar. Se llevó a cabo una serie de proyectos de investigación para cuantificar y comparar las características y ventajas de la tecnología anterior y de la nueva:

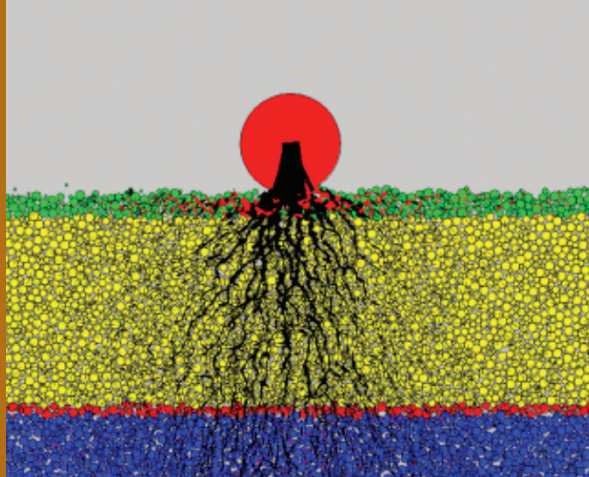
- Modelado por computadora mediante el método de los elementos discretos (Discrete Element Method, DEM)
- Pruebas de carga en placa estática para medir el potencial de mejora de la capacidad portante
- Pruebas con ruedas a escala pequeña sobre superficies no pavimentadas
- Pruebas con ruedas a escala real sobre superficies pavimentadas y no pavimentadas
- Pruebas en celda triaxial con el fin de evaluar la optimización y el mantenimiento de la rigidez del agregado



Pruebas realizadas con un dispositivo rodante de escala pequeña para comparar el rendimiento de las geomallas TriAx y BX de Tensar.



Se utilizó el ahuellamiento acumulado en la superficie y en la subrasante como parámetro de comparación del desempeño de las geomallas.



En este modelo DEM con ruedas se puede ver la transferencia de esfuerzo de una carga impuesta sobre una sección de pavimento de superficie asfaltada.



De acuerdo con los resultados de la investigación, la exclusiva geometría de apertura y el potencial de confinamiento multiaxial de la geomalla TriAx® de Tensar® proporcionan un rendimiento superior e incluso mayores ventajas con respecto a la geomalla BX de Tensar® para instalaciones con y sin pavimento.

Modelado por computadora de avanzada

Tensar International Corporation tiene desde hace muchos años la política de basarse en la investigación para definir el rendimiento de sus productos y sistemas. Este tipo de inversión dio lugar al desarrollo de productos innovadores, como la geomalla TriAx de Tensar, y a métodos nuevos para calcular el rendimiento, como el método mecanístico-empírico (M-E) de diseño de pavimento de Tensar. Mientras desarrollaba el método M-E de Tensar, nuestro equipo de investigación utilizó por primera vez el método de los elementos discretos (DEM) para representar la interacción entre el agregado y la geomalla. La técnica DEM, que permite a los ingenieros construir modelos y simulaciones virtuales, arroja luz sobre los mecanismos que posibilitan que la geomalla optimice el rendimiento del pavimento mediante el aumento de la rigidez de las capas, la retención de la rigidez y la mejora en la capacidad portante (Figura 8).

Se estableció una colaboración sin precedentes con ITASCA Consultants GmbH, una empresa que cuenta con algunos de los expertos más reconocidos mundialmente en la ciencia del modelado numérico. ITASCA fue una de las primeras empresas en utilizar la tecnología DEM en aplicaciones de ingeniería geotécnica y ha perfeccionado su uso.

Al trabajar con el equipo de desarrollo tecnológico de Tensar, los asesores de ITASCA pudieron utilizar la tecnología DEM para representar el pavimento reforzado con la geomalla, definiendo con precisión la configuración y características físicas de la geomalla Tensar y los materiales de la capa base de agregado.⁴ La interacción entre la geomalla y los materiales del suelo en un nivel casi molecular facilitaron la simulación con ruedas. A partir de estos modelos se pudo explicar cómo contribuye la geomalla al desarrollo de esfuerzos residuales y cómo otorgan ellos mayor rigidez a la capa de suelo que rodea la geomalla, con lo cual se optimiza el rendimiento general del pavimento. Por medio de modelos por computadora como el DEM, pudieron definirse y cuantificarse mejor los mecanismos específicos del refuerzo de la geomalla en estructuras pavimentadas, procedimiento que permitió realizar un estudio de validación a pequeña escala y escala real.

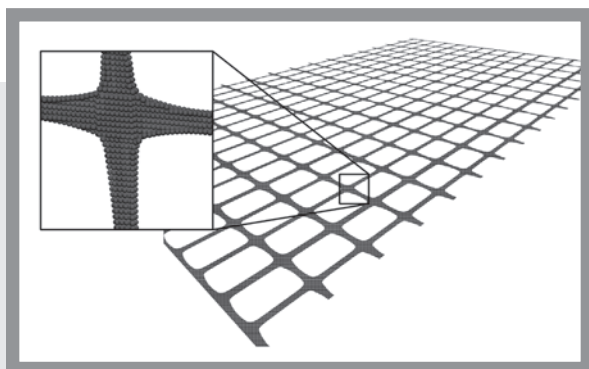


Figura 8 Nótese las partículas esféricas que forman el nodo de este modelo DEM de la geomalla biaxial de Tensar.



La geomalla TriAx de Tensar y la capa base de agregado se entrelazan para formar una capa estabilizada mecánicamente.

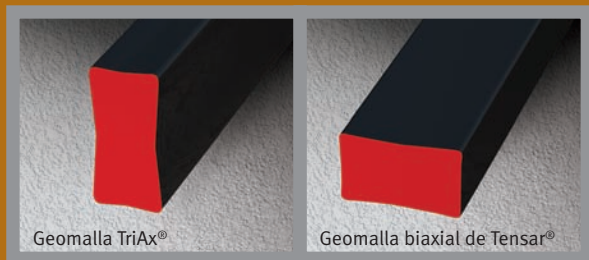


Figura 9 La aplicación de cargas cíclicas mediante un ensayo modificado de módulo de resiliencia permitió confirmar que el perfil eficaz de costillas y la orientación de costillas multiaxial de la geomalla TriAx® hacen de ella un producto más eficaz que la geomalla biaxial de Tensar.

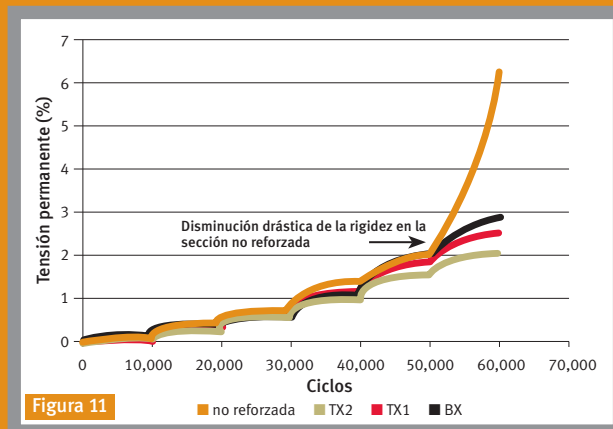


Figura 11

Investigación: Confinamiento lateral y mantenimiento de la rigidez de la base de agregado

El confinamiento lateral se define como la capacidad que poseen las costillas de la geomalla de evitar el movimiento lateral de las partículas del agregado. Este mecanismo de confinamiento implica una serie de características inmediatas y de largo plazo en instalaciones de caminos pavimentados, entre las que se incluyen:

- Compactación uniforme de la capa base de agregado y reducción, en el ahuellamiento de la superficie y subrasante
- Mantenimiento de la rigidez de la capa base de agregado, que implica un menor deterioro de la estructura de pavimento

Pruebas con la celda triaxial

El nivel de confinamiento del agregado está determinado por la eficacia de la transferencia de esfuerzo que tiene lugar entre las partículas individuales de agregado y la geomalla. Esto depende de la gradación del agregado (cuando los materiales están bien nivelados, la transferencia es más eficaz) y de la configuración y la integridad de las costillas de la geomalla. De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados con la rueda a escala pequeña y con DEM, que se detallan en las páginas 8 y 9, respectivamente, se determinó que las costillas altas y delgadas de la geomalla superarían en rendimiento a las costillas más delgadas y planas, características de la geomalla biaxial de Tensar (Figura 9).

A fin de poder investigar este fenómeno más a fondo, se llevaron adelante pruebas con la celda triaxial sometida a cargas constantes (Figura 10). Este tipo de prueba es un tipo modificado más eficaz del ensayo de módulo de resiliencia convencional. Los resultados del ensayo (Figura 11) confirmaron indudablemente los resultados obtenidos en el ensayo anterior. Para ser más específicos, puede verse que tanto la geomalla biaxial como la TriAx® de Tensar® son capaces de mantener una mayor rigidez del agregado en cuanto a una sección de control (nótese la curva empinada correspondiente a la sección de control tras 50.000 ciclos de carga). Además puede verse que la optimización de la rigidez es mayor con la geomalla TriAx de Tensar que con la geomalla biaxial convencional. Se deduce que esta característica implica directamente una disminución del ahuellamiento y la fatiga del asfalto en condiciones de tránsito constante de cargas.

La aplicación de varios niveles de esfuerzo en los ensayos con la malla triaxial permitieron evaluar el aporte relativo de la geomalla TriAx de Tensar bajo los distintos niveles de esfuerzo que pueden llegar a encontrarse en una estructura pavimentada. Dado que los esfuerzos generados en un pavimento pueden variar de acuerdo con el espesor total del pavimento y la fuerza de la subrasante, entre otros factores, los resultados de los ensayos con la triaxial pueden servir para anticipar el aumento del módulo de la capa base proporcionado por la geomalla TriAx de Tensar para determinadas condiciones de diseño.

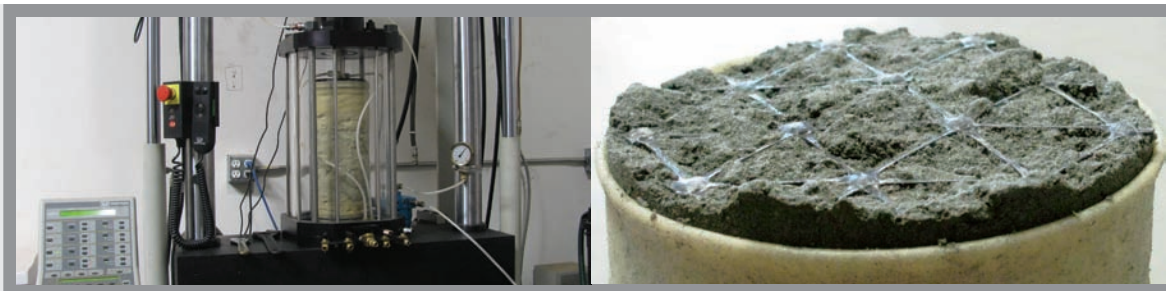


Figura 10 A partir de investigaciones a escala pequeña mediante un ensayo modificado de módulo de resiliencia se confirmó un aumento de la rigidez gracias a la inclusión de la geomalla TriAx de Tensar dentro de una capa de agregado triturada.



El cilindro de casi 9 pies (2,74 m) de diámetro utilizado por el BRE sirvió para determinar la optimización de la capacidad portante de las geomallas TriAx® de Tensar®.

Optimización de la capacidad portante por medio de la estabilización mecánica ➤

En instalaciones de pavimento flexible delgadas o en secciones construidas sobre suelos blandos, la fuerza de la subrasante suele determinar el rendimiento general por el ahuellamiento acumulado en el asfalto, el agregado y la misma subrasante. Se comprobó que el refuerzo de la geomalla implica una optimización importante de la capacidad de distribución de la carga sobre suelos blandos, en especial cuando se trata de instalaciones no pavimentadas. El concepto de optimización de la capacidad portante está bien documentado en el caso de los caminos de carga pesada y las superficies de trabajo no pavimentadas, pero su aplicación en instalaciones de pavimento, generalmente, no se consideraba de importancia en el pasado. Sin embargo, hoy en día se acepta la aplicación de este mecanismo en pavimentos flexibles relativamente delgados ($ACC \leq 4"$) colocados sobre suelos de base blanda. Los resultados de una investigación reciente realizada a escala real en el British Research Establishment (BRE), del Reino Unido, confirman que la estabilización mecánica con la geomalla TriAx® de Tensar® mejora de manera importante la capacidad portante.

Lo particular de los ensayos a gran escala realizados en el BRE fue la utilización de un cilindro de casi 9 pies (2,74 m)

de diámetro a fin de eliminar por completo cualquier confinamiento adicional producto del "efecto borde". Las pruebas de carga sobre placa y la colocación minuciosa de cada capa de suelo para la base no reforzada dieron lugar al foco de esfuerzo que muestra la Figura 12a. Esto reflejó una falla de perforación en el suelo de la subrasante, donde la carga se había distribuido casi de manera vertical desde los bordes de la placa. El desplazamiento del agregado se midió a una profundidad significativa. Sin embargo, se demostró que la sección reforzada con la geomalla TriAx, con una carga al menos dos veces más pesada que la no reforzada, brinda una mayor distribución del esfuerzo, que se concentra más que nada en la zona reforzada (ver la Figura 12b).

Los resultados de la investigación confirmaron que una capa estabilizada mecánicamente que incluya la geomalla TriAx de Tensar implica una disminución significativa del esfuerzo en la subrasante, con lo cual se optimiza la capacidad portante. A partir de estos ensayos a gran escala, se puede cuantificar la disminución de la presión sobre las subrasantes de pavimento.

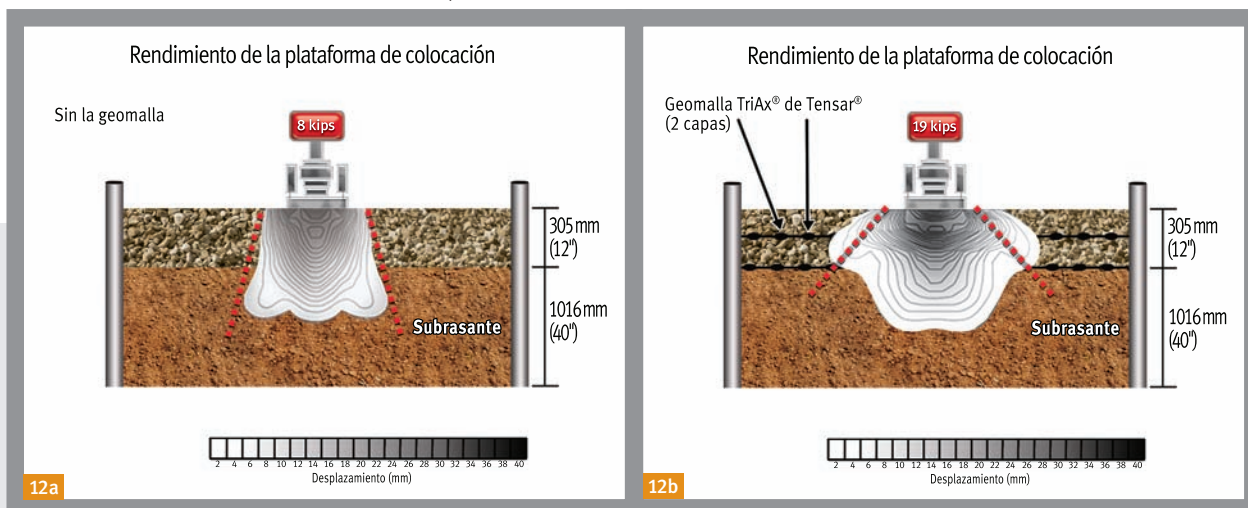


Figura 12 Los ensayos a escala real llevados a cabo en el BRE confirmaron que la inclusión de una capa estabilizada mecánicamente con la geomalla TriAx de Tensar produce un mejoramiento significativo de la capacidad portante.

La Universidad de Illinois utilizó el sistema de carga de transporte acelerado (ATLAS) para evaluar la eficacia de la geomalla de Tensar®. Luego, se midieron las reacciones de las secciones del pavimento.



Investigación: Universidad de Illinois en Urbana-Champaign

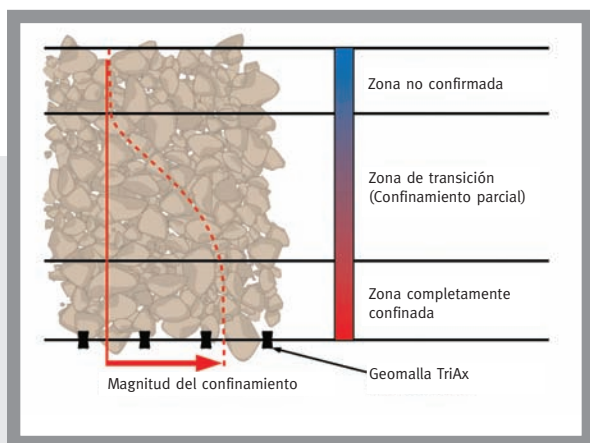
Se realizaron ensayos de pavimento a escala real acelerados en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign (UIUC), bajo la dirección del Dr. Imad L. Al-Qadi y el Dr. Erol Tutumluer, para evaluar el rendimiento de las geomallas de Tensar® en pavimentos flexibles⁵. El objetivo principal del estudio fue desarrollar un modelo de análisis de tipo mecánico para la inclusión de geomallas en pavimento flexible, efectuando pruebas en secciones a escala real y midiendo la reacción del pavimento a las cargas con equipos de última generación. Los investigadores de la UIUC midieron la reacción a las cargas con equipos colocados dentro y por debajo de la estructura pavimentada para cuantificar los niveles de esfuerzo y tensión a distintas alturas. Esta información de tipo mecánica proporcionó el sustento necesario para el desarrollo del modelo predictivo que hoy en día utiliza Tensar International para las aplicaciones con pavimento.

La investigación realizada en la UIUC demostró que la geomalla Tensar tiene un impacto significativo en la reacción y el rendimiento de la capa base de agregado con respecto a las secciones de control no reforzadas. Los

resultados confirman que la optimización de la rigidez producto del refuerzo de la geomalla varía según:

- El espesor del agregado
- El espesor del asfalto
- El soporte de la subrasante
- La calidad del agregado
- El tipo de geomalla y la profundidad de colocación
- La humedad, el tránsito y otros factores

Las investigaciones proporcionaron a los ingenieros de Tensar los medios definitivos para utilizar un modelo mecánico que anticipe las ventajas cada vez mayores de utilizar el refuerzo de la geomalla Tensar en aplicaciones de pavimento flexible. Este trabajo brinda mayor sustento a las continuas investigaciones a escala real empíricas y mecánico-empíricas en relación con la última generación en refuerzos con geomallas de Tensar, la Geomalla TriAx® de Tensar®.



Confinamiento del agregado dentro de una capa estabilizada mecánicamente. Un material eficaz de refuerzo como la geomalla TriAx de Tensar aumenta la capacidad de confinamiento y el espesor de la zona confinada.



Las excavaciones en cada una de las secciones de prueba muestran el efecto significativo del refuerzo de la geomalla de Tensar.



Los datos extraídos de la investigación a escala real de la UIUC arrojaron luz sobre los mecanismos de refuerzo y las ventajas de usar las geomallas de Tensar en pavimento flexible. Los resultados de ensayos de tránsito minuciosamente ejecutados permitieron cuantificar las características de la rigidez cuasi isotrópica que ofrece la geomalla cuando soporta cargas sobre ruedas a fin de simular y anticipar mejor las condiciones reales.

Los investigadores de la UIUC trabajaron con ensayos de pavimento acelerados para concentrar años de tránsito vehicular en un período relativamente corto. Las mediciones efectuadas bajo distintos niveles de carga mostraron cómo los mecanismos de optimización del “efecto zapato de nieve” y de confinamiento lateral de la geomalla mejoran las reacciones del pavimento, tales como la deformación por tensión en la base del asfalto, la presión vertical y la deformación en la superficie de la subrasante, y los movimientos laterales en la capa base de agregado.

Una de las conclusiones clave a las que se llegó a través de la investigación realizada por la UIUC está representada en la Figura 13. Las dos fotografías fueron tomadas desde adentro de una zanja de excavación después de haber sido transitada la superficie. Es evidente que en la sección no reforzada se produjo un desplazamiento vertical importante, y que tuvo lugar un agrietamiento por fatiga del asfalto debido al debilitamiento y a los movimientos del agregado subyacente. Por el contrario, en la sección reforzada con la geomalla se mantuvo la rigidez del agregado; por consiguiente, el asfalto que lo cubre se

mantuvo intacto, y el desplazamiento vertical disminuyó significativamente.

Un vistazo al futuro: diseño mecanístico-empírico

Tal como se explica en la página 7, la incorporación de geomallas en el diseño de pavimento se basó históricamente en un abordaje puramente empírico. Se llevaban a cabo ensayos a escala real para definir con precisión las ventajas en cuanto al rendimiento de una geomalla en particular, según el concepto del índice tráfico-beneficio (TBR). Si bien estas técnicas han sido de gran utilidad a la industria y aún se emplean, este enfoque tiene una serie de desventajas. Una de las cuestiones principales, por ejemplo, es que en este tipo de análisis sólo se tiene en cuenta el ahuellamiento de la superficie.

La investigación realizada por la UIUC fue la más exhaustiva que se llevó adelante en materia de estructuras de pavimento reforzadas con geomallas. En cada una de las secciones de prueba se colocaron sensores de esfuerzo y tensión, que proporcionaron los datos necesarios para que pudiéramos adquirir un conocimiento fundamental de los efectos del transporte de cargas dentro de cada capa por separado. A partir del conocimiento de las reacciones de los elementos individuales de una estructura pavimentada, es posible generar un modelo mecanístico-empírico que pueda emplearse para definir con mayor precisión las ventajas del refuerzo con geomallas. A su vez, el ingeniero de pavimento cuenta con un diseño más económico y confiable.

Figura 13 En el corte de la sección ya transitada de la derecha se puede ver una disminución drástica de la deformación del asfalto y el agregado gracias a la inclusión de una geomalla Tensar® en comparación con la sección no reforzada que muestra la imagen de la izquierda.





Beneficios económicos iniciales del sistema Spectra®

Durante muchos años se utilizó el método de diseño de pavimento flexible de la AASHTO (1993) como abordaje empírico para predecir el rendimiento del pavimento. El procedimiento de diseño establece un “método de cobertura” que requiere que los ingenieros de pavimento determinen una sección de suficiente espesor y rigidez (o número estructural [structural number, SN]) para proteger eficazmente el suelo de la vía durante la vida útil prevista de la estructura.

La AASHTO, en su práctica provisional PP 46-01, “Procedimiento recomendado para el refuerzo geosintético en la capa base de agregado de estructuras de pavimento flexible”, da cuenta de la estructura de las geomallas en un diseño de pavimento flexible. La carga de transporte permitida para el pavimento no reforzado se multiplica por el índice tráfico-beneficio (TBR) correspondiente, según la definición de la página 7. Los valores de TBR utilizados para una geomalla en particular deberían definirse a partir de la evaluación del rendimiento del producto en secciones de prueba a escala real. En un diseño tradicional de pavimento flexible, la geomalla TriAx® de Tensar® está expresada por una combinación de TBR y coeficientes de rigidez de la capa. El conocimiento que adquirió Tensar acerca del desempeño de las geomallas TriAx a escala real permitió calcular el ahorro de manera que permitiese cuantificar las ventajas económicas de la instalación inicial y la vida útil de la estructura.

Explicación del beneficio económico mediante la comparación de precio unitario

En las tablas 1 y 2 se desglosan los costos in situ asociados tanto con el agregado como con el concreto asfáltico, materiales utilizados generalmente en un sistema de pavimento flexible. Es esencial a la hora de efectuar un análisis de costos conocer los precios in situ de los componentes materiales, de modo que se pueda calcular el precio unitario para todo el sistema. En ambas tablas se muestra el precio por superficie de unidad para la profundidad de material considerada en el diseño. Por ejemplo, el envío, la instalación y el compactado de 300 mm de base de agregado a un costo de 25 USD por tonelada equivaldría a un costo unitario de 16,05 USD por metro cuadrado, según se expone en la Tabla 2: Costo del agregado instalado. De igual manera, si la instalación del sistema Spectra® con geomalla TriAx de Tensar requiriese sólo 200 mm de agregado para una sección equivalente, el ahorro potencial con el sistema Spectra sería:

16,05 USD por metro cuadrado (300 mm) – 10,70 USD por metro cuadrado (200 mm) = 5,35 USD menos el costo in situ de la geomalla TriAx de Tensar

También puede calcularse el ahorro por reducción del asfalto con este mismo criterio. Se recomienda a aquellos usuarios finales que deseen evaluar los beneficios económicos iniciales de la geomalla TriAx realizar un análisis de sensibilidad sobre el costo.

COSTO DEL ASFALTO INSTALADO (USD/m²)															
Espesor del asfalto (mm)	Costo in situ de la base de asfalto (USD/tonelada métrica)														
	20,00 USD	30,00 USD	40,00 USD	50,00 USD	60,00 USD	70,00 USD	80,00 USD	90,00 USD	100,00 USD	110,00 USD	120,00 USD	130,00 USD	140,00 USD	150,00 USD	
	12,5	0,59	0,89	1,19	1,48	1,78	2,07	2,37	2,67	2,96	3,26	3,56	3,85	4,15	4,44
	25,0	1,19	1,78	2,37	2,96	3,56	4,15	4,74	5,33	5,93	6,52	7,11	7,70	8,30	8,89
	37,5	1,78	2,67	3,56	4,44	5,33	6,22	7,11	8,00	8,89	9,78	10,67	11,55	12,44	13,33
	50,0	2,37	3,56	4,74	5,93	7,11	8,30	9,48	10,67	11,85	13,04	14,22	15,41	16,59	17,78
	62,5	2,96	4,44	5,93	7,41	8,89	10,37	11,85	13,33	14,81	16,29	17,78	19,26	20,74	22,22
	75,0	3,56	5,33	7,11	8,89	10,67	12,44	14,22	16,00	17,78	19,55	21,33	23,11	24,89	26,66
	87,5	4,15	6,22	8,30	10,37	12,44	14,52	16,59	18,66	20,74	22,81	24,89	26,96	29,03	31,11
	100,0	4,74	7,11	9,48	11,85	14,22	16,59	18,96	21,33	23,70	26,07	28,44	30,81	33,18	35,55
112,5	5,33	8,00	10,67	13,33	16,00	18,66	21,33	24,00	26,66	29,33	32,00	34,66	37,33	39,99	
125,0	5,93	8,89	11,85	14,81	17,78	20,74	23,70	26,66	29,63	32,59	35,55	38,51	41,48	44,44	

Tabla 1

Con la geomalla TriAx® de Tensar®, el sistema Spectra puede reducir el espesor del asfalto entre 15% y 30% y el espesor del agregado entre 25% y 50%.



Problema ejemplo: Ahorro en los costos de construcción

Se diseña un camino rural de 11 m (36 pies) de ancho y 1,6 km (1 milla) de largo que debe soportar 1,5 millones de cargas de eje simple equivalente (ESAL) durante 20 años. Los ingenieros locales pretenden construir una sección típica que requiere un *mínimo* de 101,6 mm (4") de asfalto y 152 mm (6") de capa base de agregado. Según los datos geotécnicos, el valor CBR de la subrasante equivale a 3. Otros datos pertinentes:

- Coeficientes de capa:
 - Asfalto = 0,42
 - Capa base de agregado = 0,14
 - Capa subbase granular = 0,1
- Otros parámetros:
 - Fiabilidad = 90%
 - Desviación estándar = 0,49
 - Durabilidad inicio-término = 2,2
- Costos de los componentes (in situ):
 - Asfalto, cemento y concreto = 75 USD/t
 - Capa base de agregado = 21,50 USD/t
 - Capa subbase granular = 15 USD/t

Determinar el ahorro inicial en costos por superficie de unidad (USD por m²) y el ahorro total que implica el sistema Spectra®.

Solución:

A continuación, se muestran los espesores de pavimento requeridos según el método de diseño de la AASHTO (1993) junto con los costos pertinentes:

Procedimiento habitual		Sistema Spectra	
Asfalto	152 mm (6")	Asfalto	101,6 mm (4")
Base de agregado:	178 mm (7")	Base de agregado:	152 mm (6")
		Geomalla TriAx	
Subbase granular:	152 mm (6")	Subbase granular:	152 mm (6")
Costo por unidad:	40 USD por m²	Costo por unidad:	30 USD/m² más el costo de la TriAx instalada
Costo total:	704.000 USD	Costo total:	528.000 USD más el costo de la TriAx instalada
Ahorro total:	—	Ahorro total:	176.000 USD menos el costo de la TriAx instalada

Nota: El pavimento que se necesita habitualmente es mucho más grueso que el mínimo establecido por el municipio para una sección de pavimento.

Para obtener información sobre la geomalla TriAx de Tensar o ubicar un distribuidor local, comunicarse al 1-404-250-1290.

COSTO DEL AGREGADO INSTALADO (USD/M²)															
	Costo in situ de la base de agregado (USD/tonelada métrica)														
	5,00 USD	6,00 USD	7,00 USD	8,00 USD	9,00 USD	10,00 USD	15,00 USD	20,00 USD	25,00 USD	30,00 USD	35,00 USD	40,00 USD	45,00 USD	50,00 USD	
100	1,07	1,28	1,50	1,71	1,93	2,14	3,21	4,28	5,35	6,42	7,49	8,56	9,63	10,70	
125	1,34	1,61	1,87	2,14	2,41	2,68	4,01	5,35	6,69	8,03	9,36	10,70	12,04	13,38	
150	1,61	1,93	2,25	2,57	2,89	3,21	4,82	6,42	8,03	9,63	11,24	12,84	14,45	16,05	
175	1,87	2,25	2,62	3,00	3,37	3,75	5,62	7,49	9,36	11,24	13,11	14,98	16,85	18,73	
200	2,14	2,57	3,00	3,42	3,85	4,28	6,42	8,56	10,70	12,84	14,98	17,12	19,26	21,40	
225	2,41	2,89	3,37	3,85	4,33	4,82	7,22	9,63	12,04	14,45	16,85	19,26	21,67	24,08	
250	2,68	3,21	3,75	4,28	4,82	5,35	8,03	10,70	13,38	16,05	18,73	21,40	24,08	26,75	
275	2,94	3,53	4,12	4,71	5,30	5,89	8,83	11,77	14,71	17,66	20,60	23,54	26,48	29,43	
300	3,21	3,85	4,49	5,14	5,78	6,42	9,63	12,84	16,05	19,26	22,47	25,68	28,89	32,10	

Tabla 2

El sistema Spectra® disminuye la cantidad de intervalos de rehabilitación, con lo cual disminuyen los costos generales durante la vida útil del pavimento.



Beneficios económicos durante el ciclo de vida útil de una estructura con geomallas TriAx® de Tensar®

El sistema Spectra con la geomalla TriAx® de Tensar® disminuye significativamente los costos durante la colocación y a largo plazo. Mediante el análisis de costo de ciclo de vida (Life cycle cost analysis, LCCA) es posible cuantificar el valor actual de los costos futuros asociados con el mantenimiento y la rehabilitación de las estructuras de ingeniería civil. Para simplificar, el LCCA muestra que si se gasta un poco más al principio, se podrán percibir beneficios económicos importantes a largo plazo.

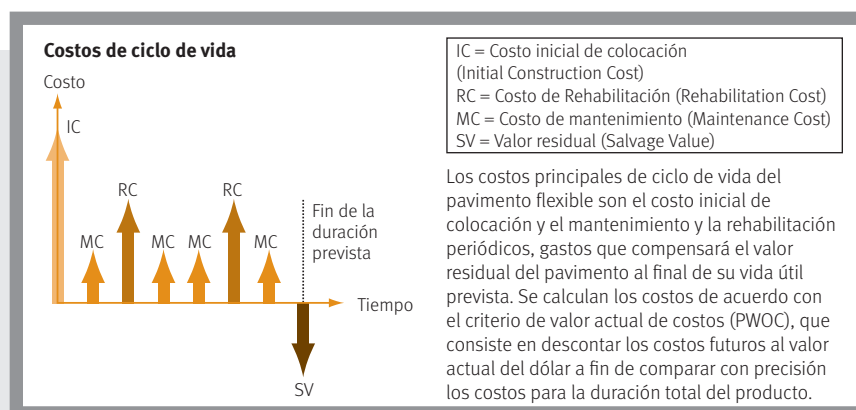
El LCCA puede aplicarse al empleo de refuerzos con geomallas en estructuras de pavimento flexible. El cálculo de los beneficios económicos durante el ciclo de vida de la estructura se realiza con base en una extensión a largo plazo de la vida útil del pavimento, con lo cual disminuye el total de intervalos de mantenimiento y rehabilitación. Este permite a los diseñadores comparar el valor actual de las opciones de pavimento con distintos costos de instalación y expectativas de rendimiento durante periodos de tiempo específicos. El análisis del sistema Spectra® incluye el costo de la geomalla TriAx de Tensar (en general, menos del 15% del costo total in situ de la estructura de pavimento), así como también los costos de componentes del pavimento, en comparación con el valor actual de costos (present worth of costs, PWOC) de los intervalos habituales de mantenimiento (por ejemplo, sellado de fisuras, relleno de grietas) y de rehabilitación (sobrecarpeta de asfalto).

Problema ejemplo: Beneficios económicos durante la vida útil del pavimento

Se construye un camino rural de bajo volumen para soportar 500.000 cargas de eje simple equivalentes (ESAL) durante 20 años. Los datos sobre costos anteriores muestran que una típica sección de pavimento exige mantenimiento cada 3 años y rehabilitación cada 6 años. El valor CBR promedio de soporte de la subrasante equivale a 4. Se toman como supuestos los mismos datos referidos a la rigidez de la capa del pavimento, los costos de los componentes y el espesor mínimo establecido que los del ejemplo de la página 15 (problema ejemplo del ahorro inicial en la colocación). A continuación figuran los costos según los intervalos de mantenimiento y rehabilitación establecidos por el municipio que se utilizan para efectuar un análisis de costo de ciclo de vida:

- Mantenimiento (sellado de la superficie): 115.000 USD
- Rehabilitación (sobrecarpeta estructural y sellado superficial): 155.000 USD
- Descuento: 4%
- Duración prevista: 20 años

Determinar el valor actual de costo (PWOC) de una sección de pavimento no reforzada con respecto a un sistema Spectra reforzado con geomalla TriAx de Tensar.



Años de actividad y costos por intervalo						
Año	No reforzado			Reforzado con Geomalla TriAx® de Tensar®		
	Cargas ESAL	Mantenimiento	Rehabilitación	Cargas ESAL	Mantenimiento	Rehabilitación
3	60.000 USD	115.000 USD		60.000 USD		
6	120.000 USD	115.000 USD	155.000 USD	120.000 USD		
9	180.000 USD	115.000 USD		180.000 USD	115.000 USD	
12	240.000 USD	115.000 USD	155.000 USD	240.000 USD		
15	300.000 USD	115.000 USD		300.000 USD		
18	360.000 USD	115.000 USD	155.000 USD	360.000 USD	115.000 USD	155.000 USD
	Subtotales	690.000 USD	465.000 USD	Subtotales	230.000 USD	155.000 USD
	Total	1.155.000 USD		Total	385.000 USD	

Tabla 3

Solución:

Paso 1: Establecer alternativas de diseño y los costos de construcción iniciales

A continuación se muestran los distintos espesores de la sección de pavimento no reforzada según el método de diseño de la AASHTO del año 1993 y el sistema Spectra® reforzado con la geomalla TriAx® de Tensar®:

	Sin refuerzo	Sistema Spectra
Asfalto	101,6 mm (4")	101,6 mm (4")
Base de agregado:	8 mm (8")	8 mm (8")
ESAL estipuladas:	425.000 USD	1.829.000 USD
Costo inicial:	533.000 USD	597.000 USD

Paso 2: Definir los años de actividad y los costos por intervalo

En la tabla 3 están expresados los costos correspondientes según intervalos de mantenimiento y rehabilitación con base en el daño acumulado (agrietamiento y ahuellamiento) pronosticado en las dos alternativas de pavimento:

Paso 3: Calcular los costos de ciclo de vida

A partir del descuento (4%), el valor actual de costo (PWOC) se calcula para todas las instancias de mantenimiento y rehabilitación que figuran en la Tabla 4 (se supone que el valor residual es igual en las dos alternativas en el año 20; por lo tanto, el efecto sobre el cálculo general insignificante).

$$\text{Factor de descuento} = 1 / (1 + r)^n$$

donde:

r = tasa de descuento (%), expresada en números decimales

(p. ej., 4% = 0,04)

n = cantidad de años en el futuro en los que se deberá pagar un costo

Paso 4: Analizar los resultados

Pese a que el sistema Spectra con geomalla TriAx de Tensar implica un costo inicial 12% más alto para el propietario en el momento de la colocación, durante el ciclo de vida de la estructura **se ahorra 37%** en comparación con una sección de pavimento no reforzada.

De acuerdo con las necesidades del usuario final, el sistema Spectra puede significar una solución valiosa en estructuras de pavimento flexible para economizar tanto en el momento como en el futuro.

Costos de ciclo de vida							
Año	Descuento Factor	No reforzado			Reforzado con Geomalla TriAx® de Tensar®		
		Costo inicial	Mantenimiento	Rehabilitación	Costo inicial	Mantenimiento	Rehabilitación
0	1,0000	533.000 USD			597.000 USD		
3	0,8890		102.234,58 USD				
6	0,7903		90.886,17 USD	122.498,75 USD			
9	0,7026		80.797,47 USD			80.797,47 USD	
12	0,6246		71.828,66 USD	96.812,54 USD			
15	0,5553		63.855,42 USD				
18	0,4936		56.767,23 USD	76.512,36 USD		56.767,23 USD	76.512,36 USD
	Subtotales	533.000 USD	466.369,54 USD	295.823,65 USD	597.000 USD	137.564,71 USD	76.512,36 USD
	PWOC Total	1.295.193,19 USD			811.077,07 USD		

Tabla 4

Costo adicional
Ahorro en costo de ciclo de vida (LCC)

12%
37%



El software SpectraPave4-Pro™ de Tensar es una herramienta de análisis líder en el mercado que se basa en más de veinte años de investigación a escala real y en la experiencia práctica.

Herramientas para el diseño

Software SpectraPave4-Pro™

Tensar International Corporation lanzará al mercado la última versión de nuestra herramienta de análisis líder en el mercado, el software SpectraPave4-Pro™, a principios de 2010. Con este nuevo software se podrá anticipar con precisión el rendimiento de estructuras reforzadas con geomallas y no reforzadas tanto en instalaciones pavimentadas como no pavimentadas. El software brinda dos herramientas de análisis de costos para evaluar las opciones del diseño de caminos pavimentados y no pavimentados.

Estructuras sin pavimentar: caminos de carga pesada y plataformas de trabajo

Este módulo, desarrollado según la más reciente metodología de diseño Giroud-Han, permite a los diseñadores evaluar los beneficios económicos de la utilización de una capa estabilizada mecánicamente con una geomalla TriAx® de Tensar® incorporada. También es posible analizar secciones similares con geotextiles u otros tipos de geomalla. El programa ofrece un detalle de lo que se ahorra en el agregado, la excavación y en los costos globales del proyecto.

Estructuras pavimentadas: pavimento flexible

Este módulo tiene como objetivo permitir al diseñador evaluar las ventajas del empleo del sistema Spectra® con

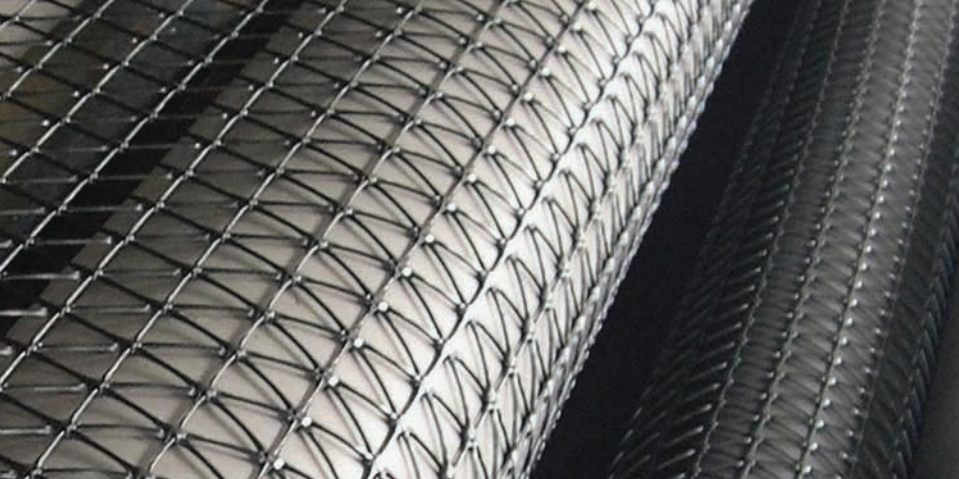
geomallas TriAx incorporadas en instalaciones de pavimento flexible, teniendo en cuenta los coeficientes del índice de beneficio del tráfico (TBR) y de rigidez de la capa de agregado. Los cálculos utilizados siguen todas las pautas de la Guía para el diseño de pavimento flexible de la AASHTO (1993).

Herramientas para el análisis de costos

Los dos módulos del software SpectraPave4-Pro permiten calcular el potencial beneficio económico fundamental de utilizar las geomallas TriAx de Tensar. El módulo que trata sobre estructuras no pavimentadas da cuenta de los costos de geosintéticos, relleno, excavación y colocación para determinar los beneficios económicos potenciales tanto por unidad de superficie como por monto global. El módulo sobre estructuras pavimentadas indica el beneficio económico inicial, así como también un análisis de costo de ciclo de vida (LCCA) exhaustivo, de modo que se pueda determinar cuánto se ahorra tanto a corto como a largo plazo con el sistema Spectra.

El software SpectraPave4-Pro podrá adquirirse a principios de 2010 a través del sitio Web de nuestra compañía: www.tensar-international.com. El programa se brindará sin cargo después de finalizado el módulo de capacitación SpectraPave4-Pro. También podrá adquirir una copia del SpectraPave4-Pro llamando al 1-404-250-1290 o comunicándose con el distribuidor de geomallas de Tensar® de su área.





La solución que funciona siempre

La ventaja de usar el sistema Spectra

Los profesionales de la industria han utilizado las geomallas de Tensar® en la construcción de estructuras duraderas y económicas por más de 25 años. El sistema Spectra, que ofrece ventajas innegables en cuanto a su rendimiento, diseño y colocación, cuenta con una tecnología preparada para enfrentar los proyectos más exigentes.

Nuestro equipo de distribución en todo el mundo se dedica a brindar la más alta calidad en productos, servicios y asistencia técnica. Al contar con un equipo de ventas técnicamente capacitado y con un departamento interno y regional de ingeniería, Tensar International Corporation permanece a la vanguardia de las tendencias de mercado y tecnología del diseño de la actualidad.

Para obtener más información sobre el Sistema de mejoramiento de carreteras Spectra® y la geomalla TriAx® de Tensar®, comuníquese al 1-404-250-1290, visite el sitio **www.tensar-international.com** o envíe un mensaje de correo electrónico a **info@tensarcorp.com**. Con gusto le brindaremos toda la información que necesite sobre las geomallas, las pautas de instalación, las especificaciones del sistema, los detalles de diseño, los diseños conceptuales, los estimados preliminares de costos, casos históricos, el software y mucho más.

Referencias del folleto de Spectra

- ¹ Secretaría del Ejército de EE. UU. Cuerpo de Ingenieros del Ejército (2003), *Use of Geogrids in Pavement Construction (Uso de geomallas en la colocación de pavimento)*, Engineering Technical Letter 1110-1-189.
- ² AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. (Guía de la AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento)*. Asociación Estadounidense de Funcionarios de Autopistas Estatales y Transporte (AASHTO) Washington, D.C.
- ³ AASHTO. (2003). *Recommended Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structures. (Procedimiento recomendado para el refuerzo geosintético en la capa base de agregado de estructuras de pavimento flexible)*. Publicación de la AASHTO PP46-01. Asociación Estadounidense de Funcionarios de Autopistas Estatales y Transporte (AASHTO), Washington, D.C.
- ⁴ Kwon, J., Tutumluer, E. y Konietzky, H. *Aggregate Base Residual Stresses Affecting Geogrid Reinforced Flexible Pavement Response, (Esfuerzos residuales en la base de agregado que afectan la reacción de una estructura de pavimento flexible reforzada con una geomalla)*, International Journal of Pavement Engineering, Tomo 9, Número 4, agosto de 2008, páginas 275 a 285
- ⁵ Al-Qadi, Tutumluer, Kwon, Dessouky, *Accelerated Full-Scale Testing of Geogrid-Reinforced Flexible Pavements (Ensayo acelerado a escala real en pavimentos flexibles reforzados con geomallas)*, Actas: 86.º Encuentro Anual del Consejo de Investigación del Transporte, celebrado entre el 21 y el 25 de enero de 2007 en Washington, D.C.



Una empresa  **tensar**

Tensar International Corporation
5883 Glenridge Drive, Suite 200
Atlanta, Georgia 30328

1-404-250-1290
www.tensar-international.com

Distribuido por:

©2009, Tensar International Corporation. Ciertos productos o aplicaciones que se describen o se ilustran aquí están protegidos por una o más patentes en los EE. UU. Otras patentes en los EE. UU. están pendientes y también pueden existir ciertas patentes o solicitudes de patentes extranjeras. Los derechos comerciales también se aplican como se indica en este documento. La determinación final sobre la aplicabilidad de cualquier información o material para el uso considerado y su modo de utilización es de exclusiva responsabilidad del usuario. Impreso en los EE. UU. de América