



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Materiales geosintéticos: la estabilización del terreno

Autor: Daniel Santillán Gutiérrez

Institución: TECONMA, S.A.

e-mail: sgd@teconma.es

Otros Autores:

RESUMEN

Los materiales geosintéticos son un tipo de geomallas de estabilización mecánica de suelos cuya utilización conlleva grandes ventajas con respecto a otros métodos de estabilización química o a métodos convencionales de tratamiento de suelos como la sustitución de tierras, las columnas de grava o los pilotajes. Mediante la utilización de materiales geosintéticos de estabilización de suelos se consigue la misma eficacia para el paquete de firme reduciendo el espesor de la capa inmediatamente superior (es posible conseguir hasta un 40-50% de reducción), con el consiguiente ahorro en movimiento de tierras, reducción de combustible para transporte y por tanto de emisiones de CO₂. Igualmente, con la inclusión de los geosintéticos es posible aumentar la vida útil del pavimento en factor de hasta 3 veces, reduciendo por tanto el presupuesto anual de mantenimiento para la sustitución y reposición de la capa de mezcla bituminosa hasta en un 50%. En suelos blandos e inadecuados, hay ocasiones en que la única solución factible es la sustitución del terreno (o saneo del mismo) en espesores de gran importancia, lo que conlleva un gran coste en movimiento de tierras y en combustible derivado del su transporte, además del correspondiente al terreno de aportación. Mediante la inclusión de una o varias capas de geosintéticos se puede evitar o minimizar el saneo del terreno en suelos blandos, con el consiguiente ahorro económico y energético. De la misma forma es posible la composición de geoceldas, que son de estructuras de geomallas triangulares con base de triaxiales, y que colocadas en la base de rellenos hacen posible su ejecución en terrenos blandos y pantanosos sin necesidad de saneo ni de tratamiento de terreno, disminuyendo en gran medida la altura y volumen de los mismos, y haciendo por tanto menor el movimiento de tierras necesario. Asimismo, los geosintéticos de refuerzo son un método rápido, económico y efectivo de contención de asientos totales y diferenciales, el reto más importante de la rama geotécnica de la ingeniería civil. En Europa y Norteamérica es frecuente su utilización como método de estabilización mecánica de suelos, habiéndose utilizado en España en varias ocasiones, como en el refuerzo de suelo junto con un geotextil para evitar el flujo de lixiviados sobre el sellado de vertedero de Hostalets de Pierola, en Barcelona, como refuerzo de firme sobre suelos blandos en el polígono Can Mitjans, en Viladecavalls (Barcelona) o en el vial de acceso al complejo de valorización de RSU en Cervera de Maestre (Castellón).

Palabras Clave: geomallas; estabilización; suelos; emisiones; CO₂; geotecnia; ingeniería; civil

1. GUÍA PRÁCTICA PARA SELECCIONAR UNA SOLUCIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA UN PROYECTO EN ESTUDIO

Las geomallas triaxiales de polipropileno están ampliamente adoptadas para la solución de problemas de estabilización y refuerzo de suelos. Es posible conseguir ahorro de costes y de plazos en obras de estabilización de suelos. Las geomallas rígidas fabricadas con polímero han pasado a ser un componente a tener muy en cuenta en los proyectos de obra civil.

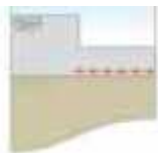
Principalmente existen cinco aplicaciones de las geomallas triaxiales para la estabilización de suelos.

Un proyecto puede requerir una sola de las aplicaciones de las geomallas triaxiales, o puede ser necesario concebir soluciones que comprendan una combinación de las siguientes posibles aplicaciones:

2. PRINCIPALES APLICACIONES QUE PROPORCIONAN IMPORTANTES VENTAJAS QUE IMPLICAN UNA REDUCCIÓN DE COSTES

REDUCCIÓN DEL ESPESOR DE LA CAPA DE BASE O SUBBASE

Mediante la reducción del espesor de la capa hasta en un 50%, sin pérdida de prestaciones comparado con un diseño convencional sin refuerzo, el contratista puede conseguir importantes ahorros económicos. Igualmente es posible conseguir evitar hasta un 50% en las emisiones de CO₂ durante la fase de ejecución.



AUMENTO DE VIDA ÚTIL DE SERVICIO

La rehabilitación de carreteras, especialmente si implica la reconstrucción profunda de las mismas, son obras caras para las administraciones. Un estudio adecuado puede demostrar que la inclusión de una capa estabilizada mecánicamente con geomallas triaxiales aumentará la vida útil del pavimento en un factor de 3 o superior, reduciendo, por tanto, el presupuesto anual de mantenimiento para la sustitución de la capas de asfalto, aproximadamente hasta en un 50%.



AUMENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE

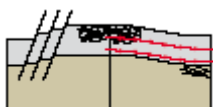
En suelos blandos o inadecuados (IN), como en turbas, en ocasiones es necesario ejecutar obras lineales que han de soportar tráficos de gran tonelaje. Un ejemplo son los accesos y plataformas de trabajo para grúas durante la instalación de aerogeneradores en parques eólicos, en los que se ha de incrementar la capacidad portante, que ha de ser calculada mediante un diseño que permita realizar los trabajos de forma segura.



CONTROL DE ASIENTOS DIFERENCIALES

Numerosas obras se ejecutan sobre zonas de rellenos en los que la subrasante apoya sobre terrenos con diferentes capacidades portantes de tal forma que las capas de pavimento serán muy propensas a sufrir asientos diferenciales. A lo largo de nuestra trayectoria, durante los últimos 30 años, se han visitado proyectos realizados con geomallas triaxiales tras muchos años en funcionamiento, confirmando que se conserva el perfil inicial de la rasante.

Es posible conseguir ahorros de hasta el 75% frente a soluciones convencionales, como pilotes, cuando se utiliza una solución basada en geomallas triaxiales como refuerzo para el terreno de cimentación de una obra lineal.



CIMENTACIONES SOBRE SUELOS BLANDOS

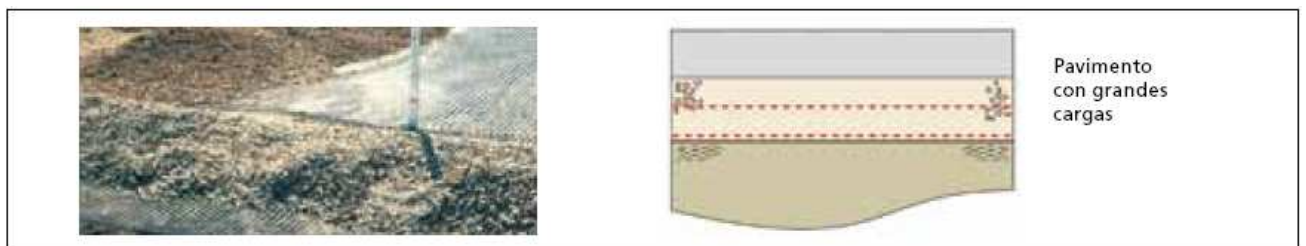
Se han desarrollado técnicas mediante la utilización de geomallas triaxiales para cimentar sobre terrenos blandos, y son actualmente un método muy utilizado para cimentación sobre marismas, zonas pantanosas y vertederos industriales.



3. DISEÑOS ESPECIALES DE SECCIONES DE FIRMES

Si las cargas de tráfico son debidas principalmente a ejes de carga de tráfico pesado o a cargas puntuales muy concentradas por rueda más que a la circulación de tráfico más ligero, entonces es posible la utilización de alguno de los métodos especiales de cálculo desarrollados con la utilización de geomallas triaxiales.

En este caso, la capa granular puede necesitar varias capas de refuerzo con geomallas triaxiales. Para este tipo de diseños se utilizan los métodos de cálculo habituales para pavimentos con grandes cargas modificados para incluir los beneficios del refuerzo con geomallas.



Los pavimentos con grandes cargas pueden necesitar múltiples capas de refuerzo con geomallas triaxiales.

PAVIMENTOS EN AEROPUERTOS

A medida que va aumentando el peso en las nuevas generaciones de aeronaves, las mayores cargas que transmiten sus ruedas necesitan una consideración especial para

proporcionar una base suficientemente resistente para las pistas de despegue y de rodaje (zonas de tránsito).



Nueva pista de rodaje en el Aeropuerto de Adelaida (Australia)

PAVIMENTOS EN TERMINALES DE CARGA

Las zonas para manipular y apilar contenedores, grandes cargamentos y productos terminados en

las fábricas, presentan usualmente cargas por rueda o por vía muy altas y concentradas.



Las geomallas triaxiales son adecuadas para pavimentos en muelles (Letonia)

PLATAFORMAS DE TRABAJO SEGURAS

Grúas y máquinas de pilotes necesitan plataformas de trabajo para operar de forma segura y con suficiente precisión. Frecuentemente, estas operaciones se han de realizar sobre suelos muy blandos.



Grúa de gran tonelaje sobre una plataforma de trabajo estabilizada con geomallas triaxiales

FERROCARRILES

Las capas de subbalasto, cuya principal función es ofrecer capacidad portante a la capa de balasto, pueden beneficiarse de la estabilización con geomallas triaxiales. Una capa estabilizada con geomallas triaxiales proporciona mayor capacidad portante para soportar el balasto. También puede ser utilizada en la formación de la plataforma, especialmente sobre suelos blandos.

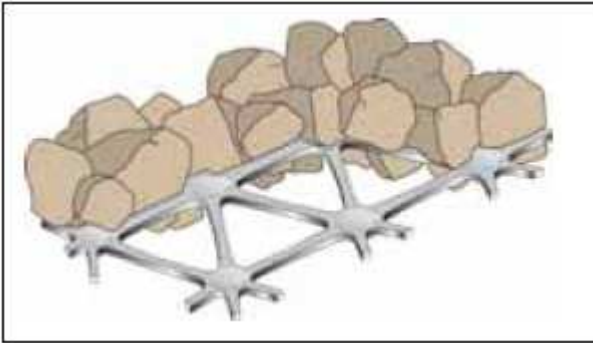


Ventajas de la estabilización de suelos con geomallas triaxiales en ferrocarriles

4. VERSATILIDAD DE LAS GEOMALLAS TRIAXIALES

Desde principios de los 80, se han empleado para la estabilización de terrenos en multitud de proyectos millones de metros cuadrados de geomallas triaxiales. En 2007 salieron al mercado, lo que significó un gran avance en el ámbito de las geomallas reconocido por numerosos premios a nivel internacional en ingeniería e innovación.

Las geomallas triaxiales han sido utilizadas en muchos países bajo condiciones de suelos y climas muy distintos y, frecuentemente la nueva tecnología ha sido utilizada para resolver problemas tanto a nivel de proyecto como de obra.



Mecanismo de interbloqueo

FUNCIONAMIENTO DE LAS GEOMALLAS TRIAXIALES. CONFINAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS DEL ÁRIDO

Las geomallas triaxiales hacen posible solucionar problemas de estabilización de suelos debido a que los materiales granulares quedan interbloqueados (trabados) de forma muy eficiente. Cuando las partículas granulares se compactan sobre estas geomallas, penetran en las aperturas triangulares y se confinan mecánicamente por la geomalla para formar una capa muy rígida de material compuesto.



Resistencia y rigidez de las uniones

La sección de la nervadura tiene influencia directa en la eficiencia de de la capa estabilizada

Características imprescindibles: Uniones monolíticas muy resistentes y nervaduras con mayor canto



La forma específica de la sección de las nervaduras proporciona puntos de apoyo para las partículas del árido y funcionan como un triángulo soportando una pirámide de bolas de billar

El proceso de fabricación de las geomallas triaxiales genera una estructura de geomalla especial que consiste en uniones monolíticas de gran resistencia y nervaduras rígidas, que presentan frente al árido una sección gruesa

rectangular con los bordes planos. Esto permite a las nervaduras de la geomalla tener un buen “agarre” con las partículas del árido dando lugar a un interbloqueo mecánico muy eficaz.

El interbloqueo impide el movimiento lateral y la dilatación de las partículas del árido, de modo que se moviliza un ángulo equivalente de resistencia al esfuerzo cortante muy alto. Este mecanismo se conoce también como “confinamiento”, porque el interbloqueo realmente inmoviliza y confina las partículas del árido. La combinación de estas características asegura, en las capas granulares estabilizadas con las geomallas triaxiales, que:

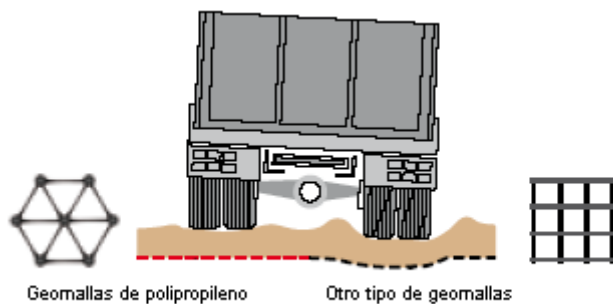
- Al aplicar una carga vertical se generan tensiones en la geomalla a partir de deflexiones muy pequeñas.
- La deformación de la geomalla es muy pequeña, en relación a las cargas de trabajo.
- La mejora producida por el refuerzo es localizada y se genera en la zona sometida a las cargas.
- La geomalla triaxial y el material granular forman conjuntamente un material compuesto, esto es, una capa de terreno estabilizada mecánicamente.

5. MÉTODO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS GEOMALLAS

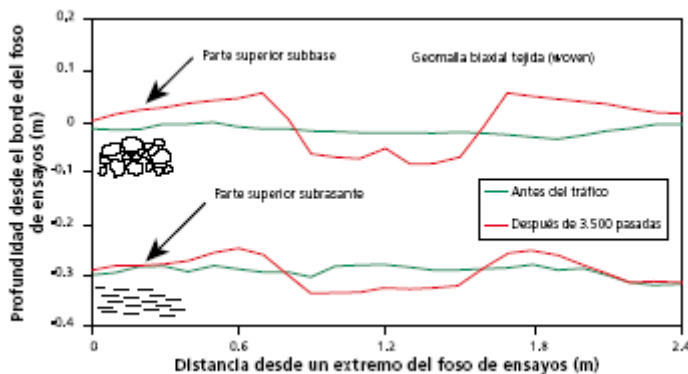
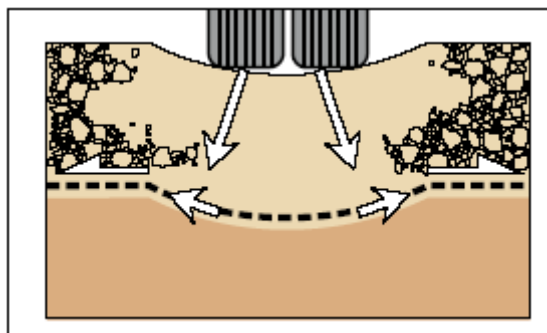
¿Funcionan de la misma forma todos los tipos de geomallas? Esta es una pregunta habitual cuando se consideran las ventajas de la utilización de geomallas, particularmente en obras lineales.

La respuesta es que los diferentes tipos de geomallas funcionan de forma diferente y un buen indicador del mecanismo de refuerzo es el método de fabricación. La calidad del interbloqueo mecánico no es parecida cuando se compara el proceso de fabricación de estirado y punzonado en geomallas con otros métodos para formar mallas tales como la extrusión, el tejido y la soldadura.

Los diseños de geomallas triaxiales están basados en el efecto de interbloqueo y en el confinamiento lateral del árido que han sido demostrados científicamente. La mayoría de las geomallas fabricadas a través de otros métodos de fabricación para generar nervaduras, uniones y aperturas diferentes, funcionan como una “membrana elástica”. El funcionamiento de membrana elástica requiere grandes deformaciones en la superficie de rodadura (roderas), tal y como se demuestra a continuación:

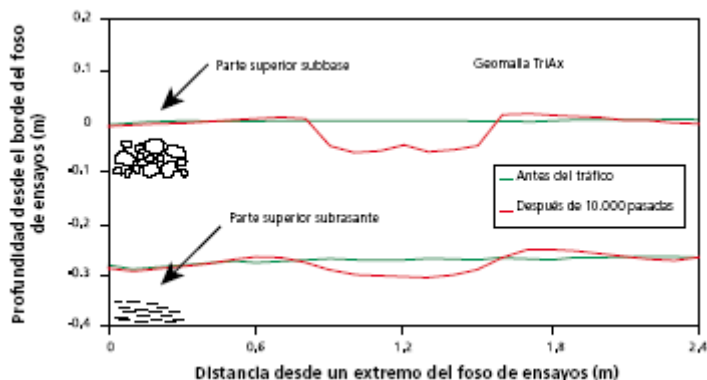
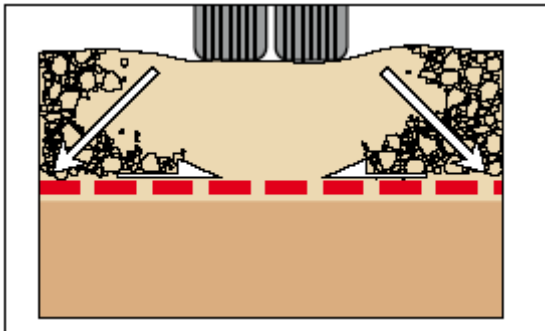


Capa reforzada con geomallas de otro tipo – mecanismo de membrana elástica



- Al actuar como membrana la geomalla necesita ser anclada en los extremos.
- Se transfieren las cargas a la geomalla generando grandes esfuerzos.
- Necesita que la subrasante y la geomalla se deformen para empezar a funcionar, lo que implica mayores deformaciones en la superficie.
- La mejora de funcionamiento respecto a la sección sin refuerzo se obtiene únicamente tras someter a la sección a un gran volumen de tráfico.
- La trayectoria del tráfico (ruedas) debe ser siempre la misma (exactamente misma rodadura) para mantener el efecto

Capa reforzada con geomallas triaxiales de polipropileno – mecanismo de interbloqueo



- El interbloqueo aumenta la rigidez de la capa de árido.
- Mejora la distribución de cargas.
- Las tensiones verticales se reducen.
- En general, mejora el comportamiento.

El mecanismo de interbloqueo y las propiedades físicas de las geomallas triaxiales sufren deformaciones menores en comparación con otros tipos de geomallas. Esta diferencia en funcionamiento se pone de manifiesto en los contornos de las roderas, mostradas en las figuras, medidas como parte de un minucioso ensayo de tráfico realizado por el TRL

(Transport Research Laboratory – Reino Unido). Las mismas son secciones del pavimento ensayado, mostrando ambas la superficie de la subbase (300 mm de espesor) y la superficie de la subrasante (CBR = 1,5%), antes y después de realizar el ensayo de tráfico.

Después de 3.500 pasadas, se formó una rodera profunda en la superficie de la subbase reforzada con otro tipo

de geomalla (membrana elástica) con una deformación considerable. Una deformación similar se produjo en la

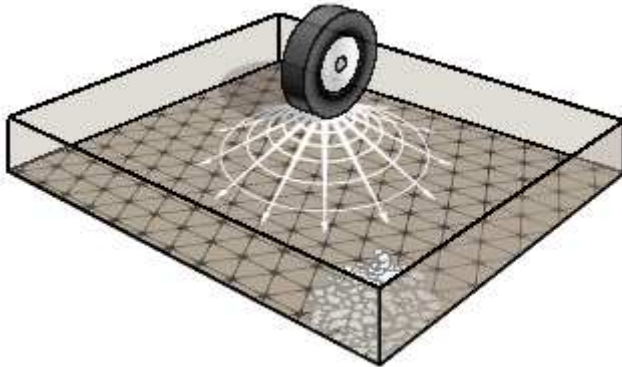
superficie de la subrasante, lo que implica un remoldeo y pérdida de resistencia de la subrasante. Para la sección con geomalla triaxial (mecanismo de interbloqueo), y tras un tráfico de 10.000 pasadas la rodera en la subbase es mucho menor con una deformación pequeña, y la deformación en la subrasante es despreciable. El funcionamiento de las geomallas triaxiales es clara y significativamente diferente al de las geomallas fabricadas por otros métodos (soldadas, tejidas, extruidas, etc.)

6. VENTAJAS DE LAS GEOMALLAS TRIAXIALES EN COMPARACIÓN CON LA CAPA ESTABILIZADA MECÁNICAMENTE CON GEOMALLAS BIAXIALES

La estructura única de las geomallas triaxiales incorpora varias características que combinadas crean una estructura optimizada que supera incluso a las antiguas geomallas biaxiales. Cuando se combinan con suelos o áridos, las geomallas triaxiales forman una capa estabilizada mecánicamente con resultados excepcionales.

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS

La distribución de cargas es un fenómeno tridimensional y actúa radialmente en todos los niveles del árido. Para que una capa estabilizada mecánicamente sea efectiva debe tener la capacidad de distribuir las cargas de forma radial en los 360 grados. Para garantizar un resultado óptimo, el refuerzo de geomallas en una capa estabilizada mecánicamente debe tener una alta rigidez radial en todas las direcciones (360°).



PROPIEDADES MULTIDIRECCIONALES

Las geomallas biaxiales tienen mayor resistencia a tracción fundamentalmente en dos direcciones. Las geomallas triaxiales tienen tres direcciones principales de rigidez, mejoradas por su rígida geometría triangular. Esto genera una estructura distinta comparada con la que presenta cualquier otra geomalla, lo que le proporciona prácticamente una rigidez uniforme en los 360°, una auténtica geomalla multidireccional con propiedades prácticamente isotrópicas. La rigidez radial mínima de cada producto puede consultarse en las fichas técnicas de cada una de las geomallas.

DISEÑO SOSTENIBLE

Este mejor funcionamiento de las geomallas triaxiales permite mayores reducciones en el espesor de las capas de áridos, reduciendo las cantidades de áridos utilizados y el volumen de material a excavar y llevar a vertedero.

Estos ahorros adicionales ayudarán a los técnicos a alcanzar sus objetivos de realizar proyectos medioambientalmente más sostenibles.

UNIONES MONOLÍTICAS

Las geomallas triaxiales se fabrican a partir de una plancha de polipropileno extruido, a la que se le practican unos agujeros y se estira para crear la estructura única. Este proceso de fabricación, junto con el diseño de las uniones, da como resultado un producto con una gran rigidez y resistencia en las uniones monolíticas.

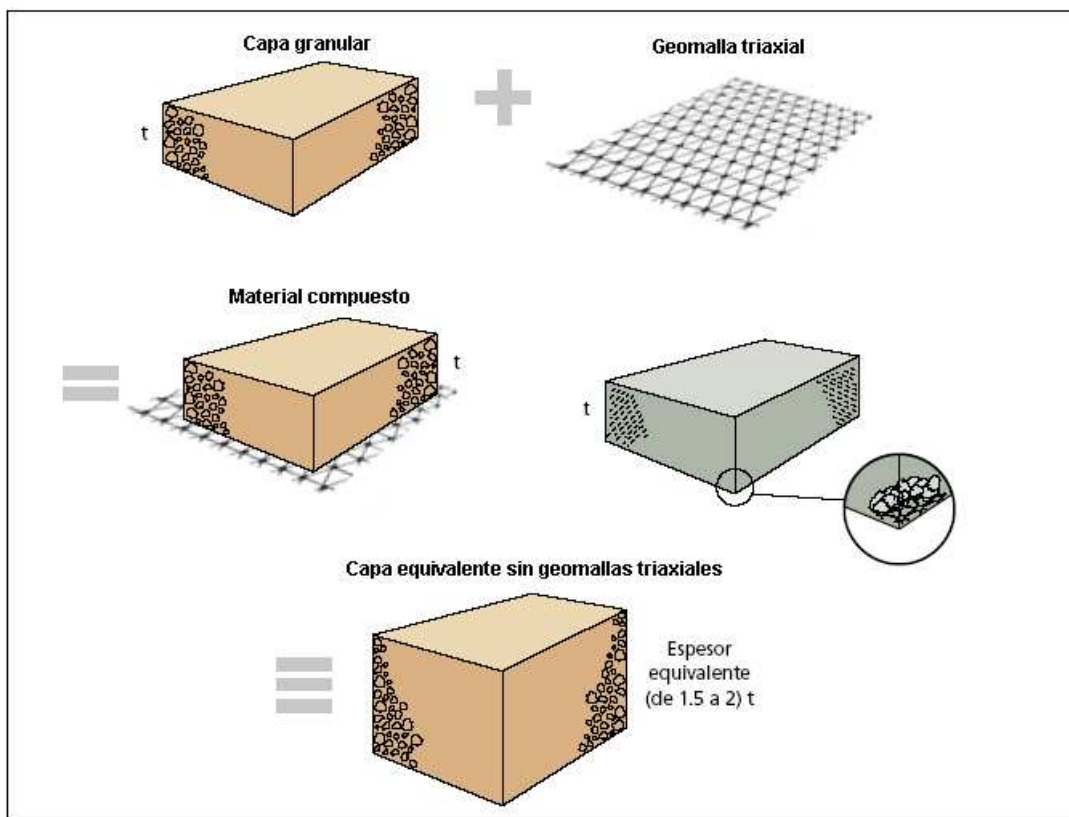
EFICIENCIA DE LAS UNIONES

Se han llevado a cabo rigurosos ensayos en cada una de las tres direcciones de las nervaduras. En cada dirección ensayada, las geomallas triaxiales presentaban uniones monolíticas muy resistentes y nervaduras muy rígidas que proporcionaban un interbloqueo mecánico muy eficaz de las partículas del árido en las aperturas de la geomalla.

CAPA ESTABILIZADA MECÁNICAMENTE CON GEOMALLAS TRIAXIALES

Las capas granulares reforzadas con las geomallas triaxiales funcionan como un material compuesto debido al mecanismo de interbloqueo y al fenómeno de confinamiento. El material compuesto árido – geomalla triaxial puede considerarse como una Capa Estabilizada Mecánicamente con geomalla.

Los ingenieros y proyectistas pueden optar por especificar una capa estabilizada mecánicamente con geomallas triaxiales, con la confianza de que las propiedades y características del material compuesto son conocidas y definibles.



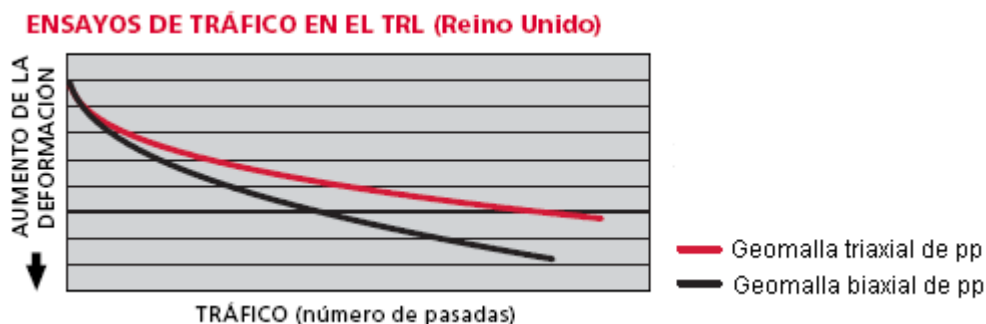
7. DEMOSTRACIÓN CIENTÍFICA DE LA CUANTIFICACIÓN DE LA MEJORA DE FUNCIONAMIENTO

Se han completado numerosos ensayos y pruebas para contrastar la mejora de funcionamiento de la geomalla triaxiales en comparación con las geomallas biaxiales convencionales. Estos ensayos incluyeron pruebas de tráfico realizadas en las instalaciones del Centro de Ingeniería del Transporte de la Universidad de Nottingham (NTEC – Reino Unido) y, a escala real, en el TRL (Transport Research Laboratory – Reino Unido). Como parte de este riguroso y exhaustivo programa de ensayos se realizaron igualmente ensayos de campo, de daños durante la instalación y de capacidad portante.

LAS INSTALACIONES PARA ENSAYOS DE TRÁFICO DE LA UNIVERSIDAD DE NOTTINGHAM

Se utilizaron las instalaciones del Centro de Ingeniería del Transporte (NTEC) de la Universidad de Nottingham para identificar las características necesarias para conseguir el mejor resultado y definir la forma definitiva de las geomallas triaxiales.

También se utilizaron las instalaciones para ensayos de tráfico de la Universidad de Nottingham (NTEC) para generar una gran cantidad de datos de tráfico tanto de geomallas triaxiales como de biaxiales, confirmando la gran mejora en el comportamiento y en los resultados de las geomallas triaxiales.



Las ventajas de funcionamiento de geomallas triaxiales en comparación con las geomallas biaxiales han sido examinadas y demostradas en ensayos de tráfico en el TRL (Reino Unido)

Se llevaron a cabo ensayos de tráfico a escala real en el “Transport Research Laboratory (TRL)” del Reino Unido. Se ensayaron un gran número tanto de geomallas triaxiales como de geomallas biaxiales con distintos espesores de capas de áridos, ensayando cada una de ellas hasta 10.000 pasadas.

Los resultados mostraron que las deformaciones fueron menores de forma consistente con las geomallas triaxiales y probaron de forma concluyente todos los beneficios estructurales que consiguen este tipo de geomallas, que incluyen:

- Mayor confinamiento del árido y mejor comportamiento de la capa estabilizada mecánicamente.
- Un aumento de la vida útil (categoría de tráfico) capaz de soportar para un mismo espesor determinado de la base – Subbase.
- Una reducción del espesor de la base – subbase para una misma categoría de tráfico dada.
- Las ventajas de funcionamiento de las geomallas triaxiales en comparación con las geomallas biaxiales de polipropileno demostradas mediante ensayos de tráfico en el TRL.



Mediante ensayos en la Universidad de Nottingham (NTEC) se han generado gran cantidad de datos de tráfico que confirman los resultados mucho mejores de las geomallas triaxiales.



Se investigó de forma exhaustiva en la Universidad de Nottingham (NTEC) la influencia del tamaño de la apertura de la geomalla, la forma y el canto de la nervadura.

ENSAYO DE DAÑOS EN LA FASE DE INSTALACIÓN

Se realizaron ensayos adicionales en el TRL que establecieron la resistencia de las geomallas triaxiales a una instalación y compactación típica. Las geomallas triaxiales demostraron ser suficientemente duras para hacer frente a la instalación sin ninguna pérdida de la integridad de su estructura o de alguna de sus propiedades.

RENDIMIENTO MULTIDIRECCIONAL

El comportamiento prácticamente isótropo de las geomallas triaxiales indica que la geomalla debería tener un rendimiento muy bueno de forma consistente independientemente de la dirección del tráfico. Esto ha sido confirmado por ensayos de tráfico en múltiples direcciones en el Centro de Ingeniería del Transporte de la Universidad de Nottingham (NTEC) comparando geomallas triaxiales con las geomallas biaxiales de polipropileno.

Las mediciones de las deformaciones mostraron que las geomallas triaxiales se comportan igual en todas direcciones. Esto contrasta con las geomallas biaxiales del mismo material, que mostraban una reducción en su efectividad cuando el tráfico se orientaba a 45° de la dirección de sus nervaduras comparado con el tráfico paralelo a las mismas.

MEJORA DE LA CAPACIDAD PORTANTE

Ensayos de capacidad portante a escala real llevados a cabo por el BRE (Building Research Establishment – Reino Unido) han demostrado que el aumento tanto de la rigidez como del confinamiento proporcionados por este tipo de geomallas consiguen una mayor capacidad de distribución de cargas.

INSTALACIÓN

El último aspecto del rendimiento es la instalación en obra. La extensa utilización de geomallas triaxiales en proyectos que abarcan todo el campo de aplicaciones ha demostrado que son fáciles de manipular en obra y es suficientemente robusta y resistente para su instalación sobre terrenos blandos.



Excavación para el ensayo de daños durante la instalación de geomalla triaxial en el TRL



Ensayos de capacidad portante realizados en el BRE confirman que las geomallas triaxiales aumentan la distribución de cargas



El árido es extendido sobre la geomalla triaxial antes de la compactación



Instalación de la geomalla triaxial en obra



La geomalla triaxial puede ser instalada con maquinaria o por dos personas

TRAS CASI 30 AÑOS DE ENSAYOS MONITORIZADOS, SE HA CONSEGUIDO GRAN EXPERIENCIA EN EL ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS GEOMALLAS

Con objeto de definir el espesor equivalente de las capas estabilizadas mecánicamente con geomallas de polipropileno, se han acumulado datos de comportamiento correspondientes a numerosos ensayos monitorizados en pruebas de tráfico a escala real a lo largo de muchos años; inicialmente con geomallas biaxiales y más recientemente con geomallas triaxiales.



1981 - Los ensayos sobre la estabilización de suelos comenzaron en 1981 con un ensayo simple de capacidad portante que demostraba los beneficios del mecanismo de interbloqueo



1985 - Los ensayos se han realizados en condiciones reales a lo largo de un período de más de 20 años



1992 - Los ensayos de laboratorio fueron confirmados repetidamente con ensayos in situ



1996 - El fenómeno de confinamiento lateral de las geomallas se traduce en grandes disminuciones de la profundidad de las roderas



2000 - Los ensayos de laboratorio a escala real realizados con una gran variedad de productos han demostrado que las geomallas triaxiales funcionan mejor que otras geomallas distintas



2004 - Los ensayos no se han realizado sólo en un mismo sitio, sino que en ellos han participado laboratorios e investigadores independientes de todo el mundo



2007 - Centro de Desarrollo Tecnológico I+D+i. Las instalaciones de ensayo de tráfico del laboratorio TRL nos permiten investigar con distintas geomallas, rellenos y subrasantes

Las imágenes muestran los tipos de investigaciones que se han realizado con las geomallas triaxiales de estabilización de suelos a lo largo de los años. Los datos en estos ensayos han proporcionado los factores a emplear en los métodos de diseño empíricos. Actualmente la tendencia en el diseño de pavimentos se mueve hacia métodos de cálculo más analíticos donde la respuesta del pavimento a cargas de tráfico puede verse reflejada en modelos numéricos.