

Análisis técnico sobre el uso de geomallas de refuerzo para la pavimentación y repavimentación de carreteras



Abstract

The following project develops the use of a reinforcement mesh for the paving and repaving of the roads in Costa Rica. One of the main reasons for the implementation of the project is to encourage the use of these geogrids in the construction and maintenance of roads, creating a method that will avoid the reflection of cracks on the layers or new overlays, the reduction of thicknesses and the decrease in costs per kilometer of intervention.

The predominant materials are geogrids that are geosynthetic materials manufactured with a polymer base, created by an open and regular mesh of traction-resistant elements.

To reach the results shown in this paper, the design involved an asphalt mixture of overlay as maintenance for periods of 4, 8, 12 and 15 years of useful lifespan on a section of National Route No. 34. With this we were able to introduce the geogrids effect in reducing both thicknesses and costs.

With the conclusion of this project, we were able to show the impact and benefits of the use of geogrids in highway projects, the most efficient way of implementing them to reduce the project's costs, lengthening its useful lifespan, and avoiding common problems such as cracking or cracking of our road's surfaces.

Keys words: geogrid, paving, repaving, reflection and cracking.

Resumen

El presente estudio trata sobre el uso de geomallas de refuerzo para la pavimentación y repavimentación de las carreteras de Costa Rica. Una de las razones primordiales para la ejecución del presente proyecto es incentivar, en el área de construcción y mantenimiento de carreteras, el uso de geogrietas, generando un método que permita evitar la reflexión de grietas en las capas o sobrecapas nuevas, la reducción de espesores y la disminución de costos por cada kilómetro de intervención.

El material predominante es las geomallas o geogrietas, que son materiales geosintéticos, fabricados a base de polímeros, constituidos por una malla abierta y regular de elementos resistentes a la tracción.

Para lograr los resultados expuestos en este trabajo, se elaboró un diseño de sobrecapas de mezcla asfáltica, como mantenimiento para periodos de 4, 8, 12 y 15 años de vida útil, en una sección de la Ruta Nacional No. 34, con esto, se logró insertar el efecto de la geomalla para reducir espesores y costos de los trabajos.

Con la conclusión de este trabajo se logra mostrar el impacto y los beneficios en la aplicación de la geomalla en los proyectos viales, la manera de implementarlas de forma eficiente para lograr la disminución de costos del proyecto, alargando la vida útil y evitando además, problemas comunes como el fisuramiento o agrietamiento de las superficies de ruedo en nuestras carreteras.

Palabras claves: geomallas, geogrietas, pavimentación, repavimentación, reflexión y grietas.

Análisis técnico sobre el uso de geomallas de refuerzo para la pavimentación y repavimentación de carreteras

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

SERGIO ALONSO ALVARADO SÁNCHEZ

Diciembre del 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco Teórico.....	6
Metodología.....	19
Resultados.....	20
Análisis de los resultados.....	46
Conclusiones.....	48
Recomendaciones.....	49
Apéndices.....	50
Anexos.....	51
Referencias.....	52

Prefacio

El desarrollo de proyectos de conservación y preservación de la red vial nacional y cantonal pavimentada, toma cada día mayor auge en Costa Rica debido al gran deterioro y rezago que existe en las carreteras nacionales.

El ente que administra la mayoría de contratos de mantenimiento o conservación vial de las rutas nacionales es el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y el de las rutas cantonales son los municipios.

Actualmente en los medios de comunicación y en la población, en general, existe un gran descontento con los trabajos que se realizan en las carreteras, debido a las malas elecciones que se hacen para solucionar dichos problemas y a los trabajos mal realizados por las empresas contratistas.

El tema que se desarrolla en el presente trabajo pretende mostrar una solución, con alto nivel de confiabilidad, a uno de tantos problemas existentes en este campo: la reflexión de grietas y deformaciones que afectan el índice de regularidad de las carreteras.

Es así como se desarrolla, a nivel de diseño y de costos, el proyecto, en el cual se emplean geomallas para pavimentación y repavimentación con el fin de mostrar el aporte en la reducción de espesores de las sobre capas; convirtiéndose en una solución eficaz y eficiente para el desarrollo de la infraestructura vial.

Con el desarrollo del proyecto se analiza técnicamente el comportamiento y el aporte de las geomallas para pavimentación y repavimentación. Además se ejemplificará con un caso real construido en el país, la aplicación en campo de la geomalla en pavimento bituminoso en caliente para reforzar el pavimento y evitar la reflexión de grietas.

El desarrollo de este proyecto pretende mostrar una solución rápida, práctica y con un costo inferior las técnicas actualmente empleadas, y controlar el avance de grietas o fisuras severas en la capa de rodamiento, sin que

se afecte el resto de la estructura de la capa asfáltica.

Se procura, asimismo, incentivar el uso de las geomallas a nivel nacional, como una técnica propicia en la solución de dichos problemas.

Resumen ejecutivo

En las rutas nacionales pavimentadas se ha intentado resolver el problema de agrietamiento y fatiga por medio de sobre capas asfálticas sin refuerzos y los resultados no han sido los esperados, ya que han sido soluciones poco eficientes y con un periodo de vida útil muy corto.

Se analizó técnicamente el comportamiento y el aporte de las geomallas para pavimentación y repavimentación.

Se pretende con este proyecto analizar el uso de las geomallas en los trabajos de rehabilitación de estructuras de pavimento, además mostrar que estas reducen el espesor de la sobre capas o aumentan la vida útil y que reducen el agrietamiento reflexivo por esfuerzos de tensión y cambios de temperatura en las carpetas asfálticas.

Se demostrará además el beneficio en costo de la utilización de esta técnica.

Se desarrolló un ejemplo práctico ejecutado en la ruta nacional No. 34 entre Esterillos, centro, y Lomas de Parrita.

Se mostró la viabilidad del uso de las geomallas en estructuras de pavimento, en condiciones propias del país y el comportamiento del pavimento con la utilización de esta técnica en condiciones de alto tránsito y sometido a sobre cargas.

El proyecto se basó, principalmente, en obras de infraestructura vial desarrolladas en el país con materiales utilizados para estos fines como asfalto, emulsión asfáltica, geogrillas; además del equipo necesario como las compactadoras, los distribuidores de asfalto, de emulsión, barredoras y equipos de acarreo.

Se desarrolló un estudio de diseño de estructura de pavimento incorporando el uso de la geomalla, para analizar si con esta se pueden reducir los espesores de la capa asfáltica

comparándolo con la reconstrucción total de la estructura de pavimento.

La forma de incorporar el efecto de la inclusión de la geomalla, en los diseños de carreteras para la reducción de espesores o aumento de vida útil, es por medio de la cantidad de ejes equivalentes para la cual se trabaja.

Al reducir la cantidad de ejes equivalentes se logrará una reducción en el remanente estructural requerido, que al aplicarle las variables en la ecuación AASHTO 93, y al ser este número variable de la fórmula para la obtención del espesor de la sobrecapa, afecta directamente dando como resultado un menor espesor.

Para obtener y verificar los resultados de este proyecto, se analizaron los resultados de sobrecapa obtenidos en el diseño para periodos de 12 y 15 años de vida útil, ya que son los mayores espesores para obtener mejores resultados y además los que permitirían, a la hora de colocar una geomalla de pavimentación, primero prenivelar con asfalto y luego colocar la cantidad o espesor necesario de mezcla asfáltica en caliente sobre la misma.

En el caso del diseño para una vida útil de 12 años, el espesor bajo de 10,4 cm a 6,8 cm y para el diseño de vida útil de 15 años, el espesor bajo de 12,1 cm a 8,5 cm.

De esta manera, se observó en los resultados una reducción importante de espesor, para el caso en que se diseña para una vida útil de 12 años con un 35% menos y para el otro caso de vida útil de 15 años se reduce en un 30%.

Además se puede interpretar como un aumento en la vida útil del proyecto, así, en vez de aplicar la geomalla para reducir el espesor, se emplea y se deja con el mismo espesor calculado, con la cantidad de ejes equivalentes completos. Por lo tanto, el efecto de esta se verá reflejado en mayor duración de la estructura de pavimento reparada.

En cuanto a los costos de los trabajos con y sin geomalla existe una reducción significativa en ambos periodos de vida útil analizados.

Para 12 años sin geomalla se tiene un costo del trabajo de \$1.520.607,04 y con la inclusión de la geomalla se tiene un costo total de \$1.333.415,06; lo cual representa una disminución del costo del tramo analizado de un 12,31%.

Para 15 años sin geomalla se tiene un costo del trabajo de \$1.769.167,81 y con la inclusión de la geomalla se tiene un costo total de \$1.581.975,82; lo cual representa una disminución del costo del tramo analizado de un 10,58%.

El efecto de la inclusión de la geomalla de refuerzo, reduce el espesor de la sobrecapa si se utiliza con la intención de reducir los costos y mantener el mismo tiempo de duración para el que se diseñó; o aumenta la vida útil del proyecto si la inclusión de la geomalla se hace para obtener un beneficio en la cantidad de tiempo y no en el costo.

Las geomallas proporcionan beneficios de costo ya que, al emplearlas, se logra reducir los espesores de mezcla por colocar y además reducen el mantenimiento periódico de los pavimentos flexibles, ya que un trabajo de repavimentación sin el uso de geomalla se verá afectado a muy temprana edad en la superficie de ruedo, por la reflexión de las grietas.

El uso de geomallas ayuda a reducir el costo del proyecto dado que esta se puede instalar de forma rápida y fácil. Sin embargo, es necesario conocer bien el método de colocación de la geomalla, ya sea esta colocada con mano de obra o con equipo especial, ya que las arrugas provocadas al colocarla incorrectamente puede, lejos de dar beneficios, generar un problema a la hora de la colocación del asfalto, ya que generaría una superficie imposible de compactar y se podría dar el desprendimiento del mismo, quedando expuesta la geomalla.



Figura 1 Traslape de la geomalla en la junta longitudinal.

Introducción

En Costa Rica existe un gran problema con las rutas nacionales y cantonales pavimentadas que presentan serios agrietamientos reflexivos debido a los esfuerzos de tensión y cambios de temperaturas en las carpetas asfálticas, además de la fatiga que presentan los pavimentos sometidos a sobrecargas.

Estas sobrecargas actúan sobre la capa de rodadura, generando fisuración por fatiga del material bituminoso. Esta fisuración promueve la intrusión de agua a la estructura del pavimento, lo cual se traduce en una menor capacidad de soporte de los materiales granulares, produciendo una pérdida progresiva de las propiedades mecánicas de estos y, por ende, un deterioro de la estructura.

Los problemas de mantenimiento ocurren cuando las grietas de estructuras fisuradas antiguas se reflejan en las nuevas capas asfálticas. Este tipo de grietas son producidas por cambios térmicos y por fatiga del pavimento producto del tráfico.

El tráfico induce fuerzas cortantes y de flexión en los pavimentos. Las grietas se inician cuando las fuerzas generan esfuerzos que exceden la resistencia a la tensión de las capas de asfalto.

Otro problema común encontrado en los pavimentos asfálticos es el ahuellamiento y las fisuras por fatiga, que son causadas también por esfuerzos de tensión en el inferior de la capa de asfalto.

Los ahuellamientos son deformaciones permanentes en la carpeta de rodadura, producidos por frenado de vehículos pesados que provocan la fatiga de los materiales bituminosos.

Todos estos problemas pueden ser resueltos con el empleo de técnicas de refuerzo de las carpetas asfálticas.

Las técnicas de rehabilitación pueden ser exitosas siempre y cuando se combinen con un mejoramiento del sistema de drenaje, el sellado de grietas, una recuperación a profundidad total del asfalto donde sea necesaria, refuerzo y subdrenaje de la subrasante, así como un espesor suficiente de asfalto para el diseño de las cargas.

La importancia del proyecto y la puesta en marcha de este análisis técnico sobre el uso de geomallas de refuerzo para pavimentación y repavimentación de las carreteras, es el efecto de la inclusión de una geomalla que podría estimarse como una reducción en el espesor de la sobrecapa o como un aumento en su vida útil de un trayecto de una carretera que, a su vez, puede reducir considerablemente el costo de la misma. Como por ejemplo, elegir la opción de una sobrecarpeta de mezcla asfáltica en caliente reforzada con una geomalla, en lugar de reconstruir toda una estructura de pavimento, subbase, base granular o base estabilizada y carpeta asfáltica, puede tener una relación de costo beneficio muy atractiva.

Antecedentes prácticos del problema

En muchas de las rutas pavimentadas del país, se ha intentado resolver el problema de agrietamiento y fatigas de las superficies de ruedo por medio de sobrecapas asfálticas sin estos refuerzos, y los resultados han sido evidentes. Luego de un periodo de utilización de estas, las fisuras o agrietamientos terminan reflejándose en las mismas y, peor aún, cuando se colocan sobrecapas no estructurales menores

a 3 o 4 cm, estas terminan fracturándose por completo.

La reflexión de grietas en la sobrecapa se da por la concentración de esfuerzos de flexión en la parte inferior de la capa asfáltica que está sobre la grieta; los esfuerzos de cortante se dan por los asentamientos diferenciales a uno y otro lado de la grieta; y los esfuerzos de tensión debido a la contracción térmica.

Objetivo general

Analizar técnicamente y económicamente el comportamiento y el aporte de las geomallas para pavimentación y repavimentación, además ejemplificar con un caso real construido en el país, la aplicación en campo de la geomalla en pavimento bituminoso en caliente para reforzar el pavimento y evitar la reflexión de grietas.

Objetivos específicos

Analizar el uso de las geomallas en los trabajos de rehabilitación de estructuras de pavimento, como pavimentación y repavimentación.

Analizar teóricamente si las geomallas reducen el espesor de la sobrecapa y el agrietamiento reflexivo por esfuerzos de tensión y cambios de temperatura en las carpetas asfálticas.

Analizar teóricamente si la inclusión de una geomalla puede aumentar la vida útil de una estructura de pavimento y, a su vez, reducir considerablemente el costo de la misma.

Exponer el ejemplo de la utilización de una geomalla en el proyecto que se encuentra en la ruta nacional No. 34 (Costanera Sur) entre Esterillos, centro, (61+400) y Lomas (72+400), en el cantón de Parrita que tiene una longitud de 11 km y pertenece a la sección de control 60082.

Hipótesis

Mediante el presente estudio se pretende analizar, de manera teórica, la viabilidad del uso de geomallas de refuerzo para evitar y detener agrietamientos reflexivos, en las capas de rodamiento de las estructuras de pavimento flexibles, además determinar que la relación costo beneficio supera la opción de reconstruir totalmente una sección específica en una ruta

pavimentada. También mostrar que una reconstrucción parcial de una estructura de pavimento, sin el uso de una geomalla implicaría el agrietamiento, a corto plazo, de la capa de rodamiento, reflejándose así el mal estado de las capas de base y sub-base.

Alcances

Mostrar teóricamente la viabilidad del uso de geomallas en estructuras de pavimentos, en condiciones propias del país y el comportamiento del pavimento con la utilización de esta técnica en condiciones de alto tránsito y sometido a sobre cargas.

Proyectar, con base en el tramo Esterillos – Lomas, la vida útil estimada de la intervención realizada con esta técnica.

Limitaciones

Con este método de uso de geomallas para el refuerzo de sobrecapas asfálticas, no se pretende demostrar el aporte estructural.

El mecanismo de trabajo de estas geomallas no se encuentra planteado claramente en bibliografías específicas, lo que dificultará la formulación de procedimientos de diseños confiables.

No se podrá medir el efecto de la geomalla en situaciones extremas de deterioro, por ejemplo, hundimientos por fallas sísmicas, hundimientos por malas evacuaciones de agua, deslizamientos y derrumbes, entre otras situaciones imprevistas.

Resultado

Se espera con el desarrollo del presente proyecto entregar una solución rápida, práctica y económica, que permita controlar por un mayor tiempo el avance de agrietamientos o fisuras severas en la capa de rodamiento, sin que estos hayan afectado ya el resto de la estructura, además se pretende incentivar para que esta técnica sea utilizada y recomendada a nivel nacional.

Marco Teórico

Tipos de pavimento

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de estos, al aplicarles cargas, es muy diferente, tal como puede observarse en la Figura 2.

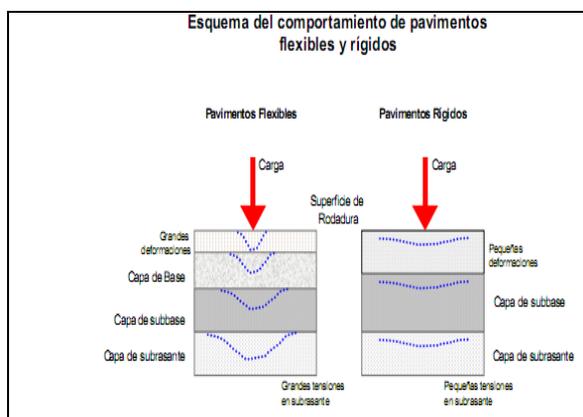


Figura 2: Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura, al tener menor rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

Elementos del pavimento flexible

Los pavimentos flexibles poseen diferentes elementos que los componen. Debido a esto,

se pueden encontrar diferentes definiciones, sin embargo, para efectos de esta investigación se hará uso de las definiciones del *Manual centroamericano para el diseño de pavimentos* (MCDP), edición 2002.

Según el MCDP, 2002, estos elementos son:

Subrasante

Esta es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. (Capítulo V, pág. 2).

Es así como el espesor de pavimento dependerá, en gran parte, de la calidad de la subrasante, por lo que esta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad. Por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

Subbase

Esta es la capa de la estructura de pavimento destinada, fundamentalmente, a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar, absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar

los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento (Capítulo V, pág. 2).

Se utiliza, además, como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que, generalmente, se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento si este no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición en los pavimentos flexibles.

Base

Esta es la capa de pavimento que tiene como función primordial distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito a la subbase y a través de esta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. (Capítulo V, pág. 2).

Superficie de rodadura

Esta es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. (Capítulo V, pág. 2).

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la Figura 3.

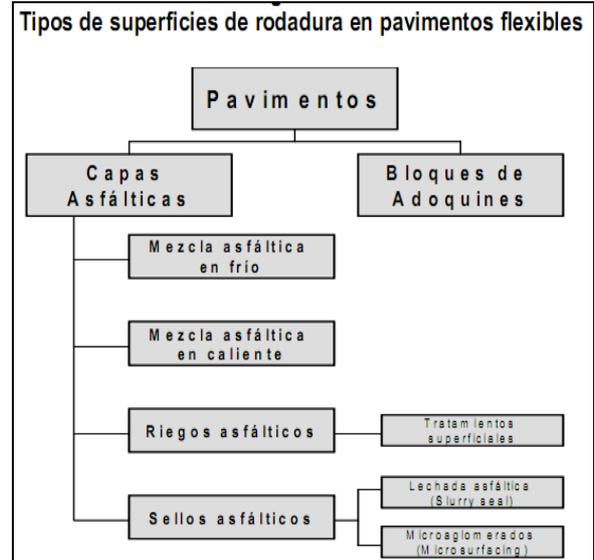


Figura 3: Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles.

Capas asfálticas

Existen diferentes tipos de capas asfálticas, entre ellas se enumeran las siguientes:

Mezcla asfáltica en frío

Esta es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos emulsificados o asfaltos rebajados, materiales que deben cumplir con ciertos requisitos según especificaciones, los cuales son mezclados mediante procedimientos controlados y darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

Mezcla asfáltica en caliente

Esta es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con ciertos requisitos según especificaciones, los cuales, mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

Riegos asfálticos

Estos son riegos sucesivos y alternados de material bituminoso y agregados pétreos triturados, que son compactados para lograr una acomodación más densa.

Brindan a la superficie las condiciones necesarias de impermeabilidad, resistencia al desgaste y suavidad para el rodaje. Se pueden mencionar diferentes tratamientos superficiales: simples, dobles y triples.

Sello asfáltico

Este es el revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, destinado principalmente a impermeabilizar una superficie asfáltica existente, por medio del llenado de los vacíos y grietas y/o evitar la desintegración de superficies asfálticas desgastadas y mejorar su resistencia contra el deslizamiento aumentando la durabilidad del pavimento.

Se pueden mencionar dos tipos de sellos asfálticos: la lechada asfáltica (slurry seal) y los microaglomerados (microsurfacing).

Rehabilitación de pavimentos existentes

Este es el proceso por medio del cual la estructura de pavimento es restaurada a su condición original de soporte. Se obtiene de la recuperación con o sin estabilización del pavimento existente en combinación con material de aporte, si es necesario.

En este proceso los materiales provenientes de los pavimentos existentes formarán parte de la nueva estructura. Lo anterior se ejemplifica en la Figura 4.

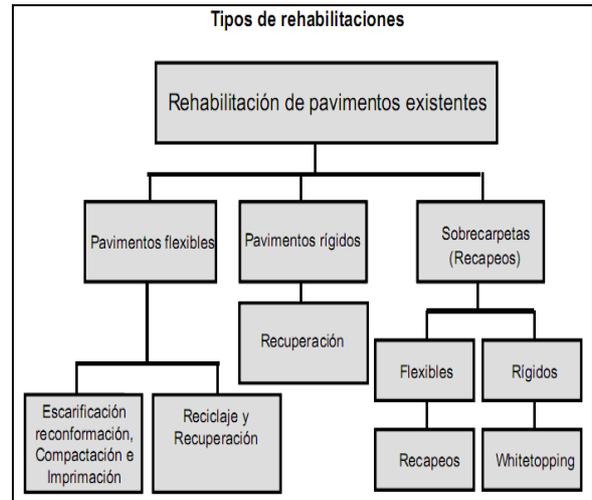


Figura 4: Tipos de rehabilitaciones.

Pavimentos flexibles

La rehabilitación de pavimentos flexibles se efectúa por medio de los siguientes procedimientos:

- ✓ Escarificación
- ✓ Reconformación
- ✓ Compactación
- ✓ Imprimación

Pavimentos rígidos

La rehabilitación de pavimentos rígidos se efectúa por medio del siguiente procedimiento:

- ✓ Recuperación.

Sobrecarpetas (recapeos)

Estas consisten en la colocación de una sobrecarpeta de mezcla asfáltica en frío, concreto asfáltico en caliente o concreto hidráulico, sobre una capa bituminosa de rodadura existente, la cual tiene un alto grado de deterioro que impide realizar sobre la misma, labores de mantenimiento rutinario.

Este tipo de trabajo es conveniente cuando las condiciones de la carretera no han llegado a los límites permisibles de deterioro y además se

hace necesario incrementar la estructura por efecto del aumento del tránsito.

Se debe considerar la realización de algunos trabajos preliminares antes de la colocación de la sobrecarpeta, tales como:

- ✓ **Bacheo** en los sitios donde se considere apropiado restablecer las características de soporte de los pavimentos.
- ✓ **Capa de nivelación superficial** para mantener los espesores de la misma capa de rodadura constante.
- ✓ **Fresado de la carpeta de rodadura** cuando se considere necesario por las altas irregularidades de la superficie, que no puedan ser corregidas con la capa de nivelación.

Los recapeos se pueden dividir en dos tipos:

- **Recapeo en pavimentos flexibles:** las sobrecarpetas o recapeos consisten en la colocación de mezcla asfáltica en frío o concreto asfáltico en caliente, en espesor no menos de 5 centímetros, sobre la capa de rodadura existente (exceptuando en adoquines), a fin de rehabilitar zonas con problemas de muchos baches o con superficies con daños severos. Este espesor corresponde a la mezcla debidamente compactada.

Esta actividad estará en función de los resultados de deflexiones en los pavimentos existentes.

Como condición indispensable para la ejecución de esta actividad, se requiere que en el tramo donde se colocará el concreto asfáltico en caliente, haya deflexiones mayores a las permisibles en el pavimento, debiendo realizar este control por medio de la Vigan Benkelman método AASHTO T-256, o por la aplicación de otro método técnico, reconocido y aceptado profesionalmente.

El valor máximo de dicha deflexión respecto a un punto dado, a una distancia no mayor de 3.68 metros en cualquier dirección, para la capa de superficie de concreto asfáltico, será el especificado en la Figura 5. Previo a su ejecución, se debe efectuar una prueba de campo para determinar la deflexión por cada 400 metros cuadrados, en la superficie de la capa de concreto asfáltico compactada, previamente a su ejecución.

Ejes equivalentes en el carril de diseño ESAL's	Deflexión Permissible
< 5.0 x 10 ⁶	0.60 mm (0.024 pulgada)
< 10.0 x 10 ⁶	0.50 mm (0.020 pulgada)
< 30.0 x 10 ⁶	0.40 mm (0.015 pulgada)
< 50.0 x 10 ⁶	0.35 mm (0.014 pulgada)

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, de la Dirección General de Caminos, Guatemala, 2,000.

Figura 5: Deflexiones máximas permisibles.

Otros defectos deben ser corregidos, siempre y cuando sobrepasen los límites indicados en la siguiente figura:

Tipo de falla	Reparación requerida
Ahuellamiento menor a 5 centímetros	Ninguna
Ahuellamiento mayor a 5 centímetros	Fresado o nivelación
Desplazamiento	Fresado
Baches	Rellenar
Falla de subrasante	Retirar y reemplazar
Piel de cocodrilo	Ninguna
Falla de bloque	Ninguna
Grietas transversales	Ninguna
Grietas longitudinales	Ninguna
Exudación	Ninguna
Degradación superficial	Ninguna

Fuente: Manual Centroamericano de Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes Regionales, SIECA, 2,001.

Figura 6: Fallas y reparación propuesta.

- **Whitotopping:** son losas de concreto hidráulico colocadas sobre pavimentos asfálticos existentes. El fin primordial es la rehabilitación de los pavimentos asfálticos deteriorados, incorporándoles como superficie de rodadura una sobrecarpeta de concreto hidráulico y tomando como estructura de soporte el pavimento asfáltico existente en el lugar. Esta sobrecarpeta ofrece una superficie más sólida y mejora las características de drenaje al eliminar defectos del pavimento asfáltico tales como ahuellamientos y desplazamientos, produciendo una superficie segura y durable.

Para efectos de la presente investigación, el recapeo que interesó desarrollar fue el sistema de recapeo de pavimento flexible.

Diseño de recapeos por el método de AASHTO

Los métodos de rehabilitación de pavimentos por colocación de una sobrecapa o recapeo sobre la estructura existente son muy variados, en función del tipo de deterioro de la estructura y de la superficie existente. Se tienen los siguientes casos:

- AC sobre pavimento de AC
- AC sobre pavimento fracturado de PCC
- AC sobre JPCP, JRCP o CRCP
- AC sobre AC/JPCP, AC/JRCP, AC/CRCP
- PCC con pasadores sobre pavimento PCC
- PCC sin pasadores sobre pavimento PCC
- PCC sobre pavimento AC

En donde:

- AC: concreto asfáltico.
- PCC: concreto de cemento Portland.
- JPCP: pavimento de concreto con juntas sin refuerzo
- JRCP: pavimento de concreto con juntas con refuerzo.
- CRCP: pavimento de concreto con refuerzo continuo.

El objeto de estos recapeos tiene dos funciones, dependiendo de cuál de las dos condiciones es la que se quiere recuperar o si es combinado, ya que una de las funciones es la capacidad estructural y la otra es la serviciabilidad.

La primera aplica cuando las condiciones de la estructura de pavimento está llegando a su periodo de diseño y es necesario el refuerzo de la estructura para soportar el crecimiento del tránsito y, por ende, de las cargas; la segunda aplica cuando las condiciones de la superficie del pavimento ha llegado a su vida útil y ha sufrido tal deterioro que no permita el desplazamiento normal de los vehículos.

Geosintéticos

Según Alvarado (2012), son materiales geosintéticos aquellos materiales sintéticos cuyo principal beneficio es que aportan las propiedades y funciones que no poseen los materiales naturales, para el diseño y la construcción de todo tipo de obras.

También se pueden definir como productos hechos por el hombre, para su aplicación en proyectos relacionados con la Ingeniería Geotécnica, Civil y Ambiental.

Los geosintéticos pueden ser agrupados de la siguiente forma:

- Geotextiles
- Geomembranas
- Geomallas o geogrillas
- Georedes
- Geocompuestos
- U otros geo-productos.

Geomallas o geogrillas

La geomalla es una estructura plana a base de polímero. Está constituida por una malla abierta y regular de elementos resistentes a la tracción, pudiendo estar fabricados por láminas perforadas o tejidos ligados por procesos térmicos o de encolado, en la cual las aberturas tienen dimensiones superiores a las de los constituyentes, es usado en contacto con el suelo o con otros materiales.

En lugar de ser tejidos de mallas apretadas, no tejidos o tejidos de punto; las geogrillas son plásticos con una configuración de mallas abiertas, es decir, que tienen aberturas grandes. Además pueden ser estiradas para mejorar sus características mecánicas (láminas perforadas) o directamente fabricadas por los métodos textiles tradicionales (tejidos).

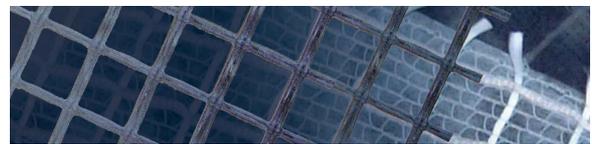


Figura 7: Geomalla.

En Costa Rica algunos de los proveedores de geomallas para pavimentación más importantes son:

- **Maccaferri con la MacGrid® AR**

Por más de 130 años, Maccaferri ha investigado, proyectado y desarrollado soluciones para resolver los problemas relacionados con las áreas de ingeniería civil y ambiental. Promueven mundialmente la mayor gama de soluciones en malla hexagonal de doble torsión, geosintéticos, fibras metálicas y sintéticas en los cinco continentes.

- **Mexichem Costa Rica con las Geomallas de fibra de vidrio PAVCO.**

Mexichem Costa Rica S.A., anteriormente conocida como Amanco Tubosistemas de Costa Rica S.A., está presente en el mercado de la construcción en Costa Rica desde 1997, cuando se da la fusión de las empresas Plásticos para la Construcción (PPC) y Ricalit, compañías que operaban desde los años de 1960.

A nivel internacional se pueden encontrar más proveedores de estos productos, entre ellos, los más importantes son:

- **Fibertex que distribuye el Fibertex AM2**

Fibertex es una empresa líder en la fabricación de tejidos no tejidos punzonados y spunmelt para aplicaciones en sectores de aplicación industrial, técnico e higiénico. Con sede central en Aalborg, Dinamarca y plantas de producción en Dinamarca, Malasia y República Checa, Fibertex está representada globalmente. Desde su fundación en 1968, Fibertex se ha expandido continuamente y, actualmente, se fabrican tejidos no tejidos para clientes en todo el mundo y para muchas aplicaciones distintas.

- **Propex Geotextile System con Petrotac**

Líder Global en geotextiles y soluciones para control de erosiones, son productos de ingeniería para la estabilización de la tierra.

- **Tensar Internacional con la GlasGrid**

Distribuidor exclusivo en las Américas de Saint-Gobain Technical Fabrics.

Agrietamiento de un pavimento

El agrietamiento del pavimento es la señal de peligro más visible. Existen dos tipos comunes de agrietamientos, el reflexivo y la fatiga, que comienzan en la base de las capas del pavimento y emigran hacia la superficie. Ambos pueden ser retardados y controlados usando un sistema de entrecapa con tela de pavimentación.

Un tercer tipo de problema es el agrietamiento por calor, causado por expansión y contracción actual, más que nada en la capa superior del pavimento, como ejemplo, en una carpeta asfáltica nueva.

Este agrietamiento no puede, siempre, ser prevenido por la capa de tela de pavimentación subyacente, pero los beneficios de impermeabilización del sistema de entrecapa con una tela de pavimentación, generalmente, se mantienen intactos si llegara a ocurrir agrietamiento por calor.



Figura 8: Agrietamiento de pavimento.

Retardación de grietas reflexivas

Las grietas en pavimentos existentes son transmitidas hacia la carpeta asfáltica nueva. Estas grietas reflexivas se pueden formar rápidamente si se hace un contacto fuerte convencional directamente sobre el pavimento viejo. Sin embargo, el uso de un sistema de entrecapa con tela de pavimentación provee un medio que absorbe los esfuerzos provenientes de la grieta antigua, retardando la propagación de la misma hacia la nueva carpeta asfáltica.

El sistema de geomalla de pavimentación es muy efectivo a menos que el agrietamiento viejo tenga un movimiento vertical u horizontal significativo (esto es, mayor de 2 pulg (5 cms) de movimiento vertical diferencial desde las losas oscilantes). Si esto ocurre, la entrecapa no puede absorber todo el esfuerzo y algunas grietas reflexivas pueden ocurrir. Sin embargo, los beneficios de impermeabilización todavía estarían presentes.

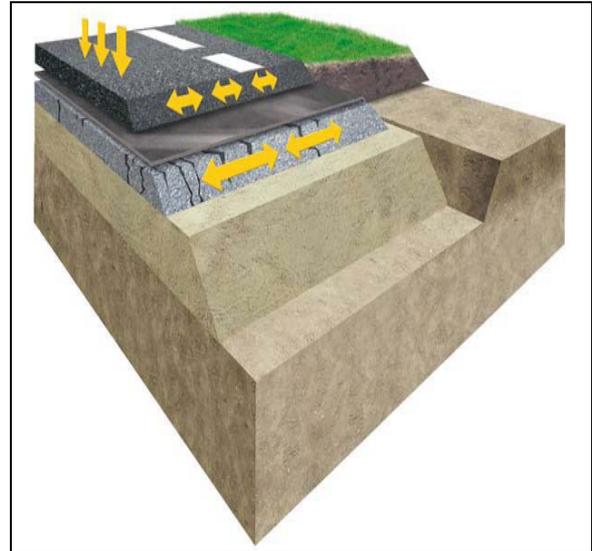


Figura 9. Ilustración de grietas en el pavimento.

Resistencia al agrietamiento por fatiga

La flexión del pavimento, finalmente, puede causar agrietamiento por fatiga. El pavimento se agrieta a partir de la base donde la capa está a tensión.

Un contacto fuerte de la carpeta asfáltica nueva con solo un mínimo de riego de liga asfáltica tiende a entrelazar la carpeta a las capas inferiores del pavimento. Esto crea una capa de pavimento más gruesa.

El uso de una entrecapa de tela de pavimento une la nueva carpeta asfáltica y las capas del pavimento existente, pero permite que ellas trabajen un poco independientemente, reduciendo el riesgo de esfuerzos y agrietamientos altos. Si ocurre flexión, se ha demostrado que un pavimento con una entrecapa de tela de pavimentación se dobla muchas veces más antes del agrietamiento.

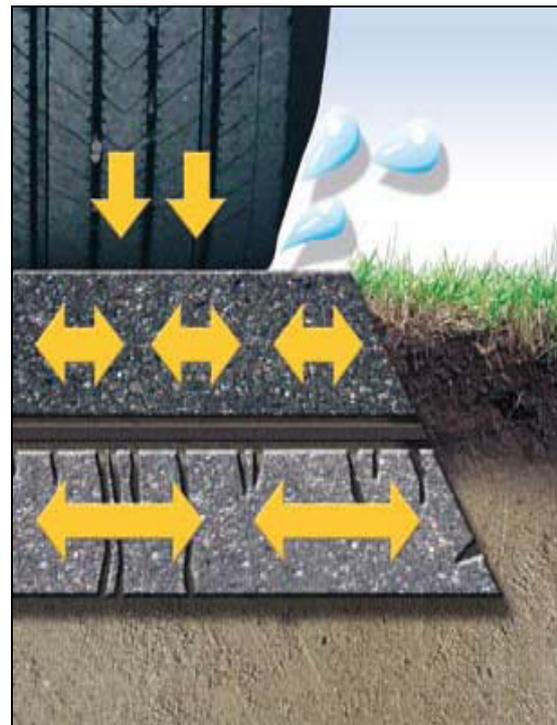


Figura 10: La geomalla de pavimentación absorbe los movimientos diferenciales entre capas asfálticas lo que evita la formación de grietas por reflexión.



Figura 11 Sin la geomalla de pavimentación se producirá una rápida reflexión de las grietas desde la antigua a la nueva capa asfáltica y además el agua superficial penetrará sobre la capa antigua de asfalto. Esta situación acelerará el deterioro en la construcción de la carretera.

Preparación del pavimento existente para la colocación de las geomallas

La preparación del pavimento existente debe producir una superficie uniforme y una rigidez de la vía para recibir adecuadamente la capa de repavimentación. Tal preparación superficial debe incluir lo siguiente:

1. Eliminar los movimientos diferenciales verticales en grietas mayores.
2. Limpiar la superficie de polvo, mugre, vegetación y humedad.
3. Llenar todas las grietas mayores de $\frac{1}{4}$ de pulgada (6.4 mm) con un imprimante para grietas.
4. Limpiar el pavimento de protuberancias angulares.

A menudo, una capa de nivelación con mezcla asfáltica es colocada sobre un pavimento existente de calidad inferior, antes de la colocación del sistema de intercapa de geomalla

para repavimentación. Una superficie fresada también puede ser usada debajo de un sistema de intercapa.

Instalando las geomallas de pavimentación

La condición de la superficie del pavimento y su capacidad estructural deben ser determinadas antes de usar el sistema de geomalla de pavimentación.

Para obtener un funcionamiento exitoso, el pavimento no debe tener movimientos verticales u horizontales significativos entre las grietas o uniones o deflexión local bajo la carga de diseño.

Materiales

• Geomallas

Son estructuras bidimensionales que se elaboran en diferentes polímeros para que interactúen con el suelo, de tal manera que complementen la resistencia a la tensión de este, y así crear una resistencia geomalla-suelo adecuada para recibir cargas y distribuir las uniformemente.

Las geomallas se clasifican en unidireccionales, bidireccionales y multidireccionales. Su principal aplicación se da en muros de contención, terraplenes, pavimentos flexibles, vías no pavimentadas y cimentaciones.

Los que deberán tener la capacidad de absorber la suficiente cantidad de ligante asfáltico y presentar los siguientes requerimientos de propiedades mecánicas, como se puede observar en el cuadro 1.

Las propiedades de resistencia de las geomallas dependen de los requerimientos de supervivencia y de las condiciones y procedimientos de instalación.

CUADRO 1. NORMAS POR UTILIZAR PARA REQUERIMIENTOS DE LAS GEOMALLAS	
Propiedad requerida	Norma de ensayo
Elongación máxima a la rotura	ASTM D-6637
Resistencia a la tensión Grab.	ASTM D-6637
Retención asfáltica	ASTM D-6140
Masa por unidad de área	ASTM D-5261
Punto de fusión	ASTM D-276

• Ligante asfáltico

El material que se utilizará para saturar la geomalla y desarrollar la mencionada membrana visco-elasto-plástica, además de garantizar una adecuada adhesión de esta membrana a la base granular o a la mezcla asfáltica existente, y a la capa superior (capa de refuerzo, o de mantenimiento), podrá ser un cemento asfáltico de penetración 60-70 mm/10 (ASTM D-5), o una emulsión catiónica de rompimiento rápido tipo CRR-1, de tal forma que se satisfaga la cuantía de ligante asfáltico de retención. La geomalla se podrá colocar solo después del correspondiente rompimiento de la emulsión. Los asfaltos diluidos que contienen solventes no deberán ser usados.

Equipo

Se deberá disponer de los equipos adecuados para la imprimación, la colocación de la geomalla, la colocación y la compactación del concreto asfáltico de la capa de repavimentación, pavimentación o mantenimiento. El irrigador de asfalto debe ser capaz de aplicar el producto asfáltico de liga, a la tasa de aplicación especificada por el proyectista de manera uniforme. El irrigador también debe estar equipado con una boquilla de aspersion. El equipo mecánico o manual de instalación de la geomalla debe ser capaz de instalarlo uniformemente, cuidando de producir la mínima cantidad de arrugas.

Se deben suministrar los siguientes equipos

misceláneos: escobas de cerda rígida o rodillos para uniformizar la superficie de la geomalla, tijeras o cuchillas para cortar la geomalla, cepillos para aplicar el sellador asfáltico a los traslajos de la geomalla.

Puede requerirse para ciertos trabajos, equipos de compactación neumática para uniformizar la imprimación de la geomalla con el ligante. La utilización de un compactador neumático puede ser requerida, especialmente, en trabajos donde se coloquen capas delgadas de mezcla asfáltica. Esto se realiza para mejorar la adhesión de la geomalla a las superficies debido a la ausencia de peso y temperatura asociada con capas delgadas.

Personal

El personal que se emplee para la pavimentación y repavimentación con geomallas debe ser suficiente y estar debidamente calificado para ejecutar el trabajo requerido, de acuerdo con lo establecido

Secuencia de instalación

1. Limpieza de la superficie y reparación de grietas

La imprimación e instalación de la geomalla solo se deberá realizar cuando la limpieza de la superficie y la reparación de las grietas se hayan realizado, de acuerdo con los trabajos indicados en el proyecto.

Para garantizar que la adhesión de la geomalla a la capa asfáltica antigua y a la de repavimentación sea la adecuada, deberá preverse que la superficie sobre la cual se colocarán los rollos de geomalla esté libre de elementos tales como polvo, agua, vegetación y escombros que pudiesen entorpecer el contacto entre el ligante asfáltico y la carpeta vieja. Los equipos recomendables utilizados en este tipo de operaciones son compresores neumáticos con boquillas adecuadas para limpieza o incluso se permite la utilización de escobas, como también se usan equipos de barrido mecánico.

Después de terminar el proceso de limpieza, las grietas que excedan los 6,4 milímetros (6,4 mm) de ancho deberán ser sopladas y selladas

de acuerdo con la respectiva especificación particular del proyecto.

En áreas donde se presenten huecos o grietas considerables, se deben realizar excavaciones para reparación del pavimento existente, así como las operaciones de relleno que correspondan.

Donde la superficie se presente muy deformada se colocara mezcla asfáltica en caliente o en frío, que sirva como capa de nivelación, previamente a la aplicación del ligante asfáltico de retención.

2. Tasa y forma de aplicación del ligante asfáltico

La cantidad de ligante asfáltico a utilizar depende de la porosidad relativa de la capa antigua y de la geomalla por utilizar en el proceso de repavimentación, para garantizar el desempeño de la membrana visco-elasto-plástica lograda con la saturación de la geomalla. La cantidad de ligante asfáltico deberá ser la suficiente para satisfacer los requerimientos de la saturación de la geomalla. Adicionalmente, se debe incluir la cantidad necesaria para adherir la geomalla y la nueva capa asfáltica a la superficie de la capa antigua.

Sobre la superficie tratada se deberá extender el ligante asfáltico para lograr así la mencionada membrana visco-elasto-plástica. Las técnicas de imprimación requieren que los equipos coloquen el ligante a una tasa uniforme, siendo necesario el uso de equipos mecánicos, tales como camiones irrigadores. Cuando se utilicen equipos manuales se puede lograr una aplicación adecuada del ligante, teniendo en cuenta que esta deberá ser homogénea y uniforme.

3. Temperaturas de trabajo

Para evitar daños a la geomalla, las temperaturas del camión irrigador de cemento asfáltico no deben exceder los 150°C. Los patrones de riego con emulsiones asfálticas son mejorados con calentamiento. Es deseable un rango de temperaturas entre 55°C y 70°C. No debe excederse una temperatura de 70°C, puesto que a partir de esta puede romperse la emulsión.

Ni el sellador asfáltico ni la geomalla deben colocarse cuando las condiciones del clima no

sean las adecuadas. Las temperaturas del aire y del pavimento deben ser las suficientes para permitir que el sellante asfáltico haga que la geomalla permanezca adherida en su sitio.

4. Colocación de la geomalla

La geomalla deberá ser colocada sobre el ligante asfáltico con una mínima cantidad de arrugas, antes que el ligante pierda adhesividad.

La colocación de la geomalla podrá realizarse manual o mecánicamente, mediante equipos especiales para la colocación de los rollos y así de esta manera se podrá eliminar al máximo la formación de arrugas.

Los cuidados principales para el tratamiento de las arrugas incluyen los siguientes:

- Las arrugas y dobleces de más de 25 mm deberán rasgarse y aplanarse siempre en el sentido del avance de los equipos utilizados en las labores de pavimentación o repavimentación, para evitar levantamientos.

En el caso de que la arruga o doblez sobrepase los 50 mm, este exceso deberá ser eliminado.

- El traslapo de la geomalla en reparación de arrugas deberá contemplar el uso de ligante adicional para saturar las dos capas de geomalla y formar una membrana visco-elasto-plástica uniforme y manteniendo el efecto impermeabilizador o de disipación de esfuerzos.

Deberá contemplarse la menor dimensión posible para la conformación de los traslapes entre rollos adyacentes; los traslapes en cualquier dirección no deberán exceder veinte centímetros (20 cm). En las zonas de traslapes se deberá hacer una aplicación adicional de ligante asfáltico para garantizar la saturación total de la geomalla, según las expectativas mencionadas anteriormente.

- Para facilitar un mayor contacto de la geomalla con el ligante y eliminar en mayor proporción las arrugas de la geomalla, se podrán utilizar equipos mecánicos como es el caso de un compactador de llantas.

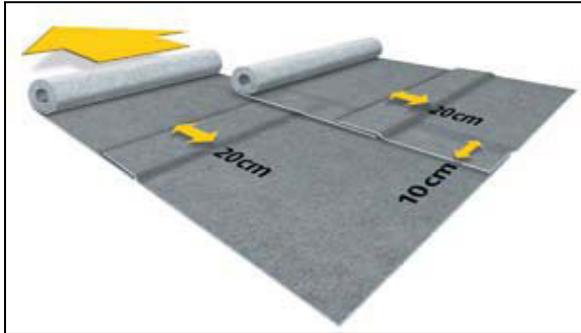


Figura 12 Traslapes longitudinales y transversales.

Colocación de la nueva capa asfáltica

Una vez instalada la geomalla, la nueva capa asfáltica se colocará en el menor tiempo posible. La temperatura de colocación de la mezcla no deberá exceder los 150 °C. Cuando el asfalto de liga traspasa la geomalla por sobresaturación, de tal forma que se puedan causar algunos problemas especialmente al tránsito del equipo de construcción produciendo desprendimientos de la geomalla, se permitirá esparcir una película de arena limpia sobre la huella de las llantas del equipo, para que el exceso sea absorbido por esta arena y se impida el desprendimiento de la geomalla. Posteriormente, estos excesos de arena serán retirados para proceder a la colocación de la nueva carpeta asfáltica.

Para evitar que la membrana visco-elasto-plástica lograda mediante la correcta colocación de la geomalla se desplace y se produzcan daños, las maniobras de la pavimentadora y demás equipo deben ser graduales y el tráfico sobre esta superficie deberá ser mantenido a un mínimo posible.

Se deben tener cuidados especiales ante las condiciones climatológicas adversas, no se podrá instalar la geomalla cuando la capa de pavimento existente esté en condiciones húmedas. En el caso de querer hacer grandes avances en la instalación de la geomalla es necesario prever que no lloverá en la zona. Esta es la única condición que pudiera llegar a afectar el avance de obra.

Condiciones para el recibo de los trabajos

• Controles

Durante la ejecución de los trabajos se deben llevar los siguientes controles:

1. Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el constructor
2. Verificar la limpieza de la superficie de la capa asfáltica antigua y la correcta reparación de las grietas existentes, de acuerdo con lo definido en las especificaciones.
3. Vigilar la correcta dosificación de la cantidad de ligante asfáltico, según las especificaciones particulares del proyecto.
4. Verificar la temperatura del ligante en el momento de colocación de la geomalla, de acuerdo con lo descrito en las especificaciones.
5. Verificar la correcta colocación de la geomalla, los tratamientos de las arrugas y los traslapes entre los rollos de geomalla, de acuerdo con lo definido en las especificaciones.
6. Verificar la colocación y la densificación de la nueva capa asfáltica y sus dimensiones, según lo especificado en el proyecto.
7. Supervisar la correcta aplicación del método aceptado.
8. Comprobar que los materiales por utilizar cumplan con los requisitos de calidad exigidos por las especificaciones.
9. Vigilar las condiciones climáticas durante los procesos de aplicación del ligante asfáltico e instalación de la geomalla y la colocación de la capa asfáltica.
10. Efectuar ensayos de control sobre la geomalla de conformidad con lo establecido en las normas: ASTM D-6637 que se refieren a la metodología de muestreo para ensayos y la práctica para dar la conformidad de las especificaciones de los geosintéticos. Y los ensayos de control sobre el ligante asfáltico, los agregados pétreos y el material de la capa de asfáltica deberán regirse por las especificaciones del proyecto.
11. Verificar que cada rollo de geomalla tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote y la referencia del producto,

así como la composición química del mismo, junto con una declaración del fabricante que deberá incluir la información que se refiere a la conformidad de la geomalla.

12. Comprobar que durante el transporte y el almacenamiento, las geomallas tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
13. Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas a su satisfacción.

• Muestreo en obra

Esta actividad de carácter obligatorio, deberá desarrollarse para todo despacho de geomallas que lleguen a la obra, para ser usados de acuerdo con los requerimientos establecidos por el proyecto y forma parte del proceso de aseguramiento del control de calidad de la construcción, desarrollado independientemente del programa de control de calidad de la producción o manufactura. Para esto, deberá seguir lo establecido por las normas ASTM D-6637 que se refieren a la metodología de muestreo para ensayos y la práctica para dar la conformidad de las especificaciones de los geosintéticos.

Para el muestreo en obra se trabajarán rollos estándar con un área entre 400 y 600 m². En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se deberá convertir a unidades de rollos equivalentes en relación con 500 m².

Para el muestreo del control de calidad en obra de las geomallas, por cada envío o despacho de materiales, se deberá escoger al azar un número de rollos equivalentes a la raíz cúbica de los rollos suministrados por cada envío o despacho, al que se le dará conformidad o aceptación por parte de la obra y a los que se les utilizará para el uso que trata esta especificación, teniendo en cuenta que si el número de rollos es mayor o igual a 1000, el número de muestras seleccionadas debe ser igual a 11.

De cada rollo se deberán descartar las dos primeras vueltas de geomalla para el muestreo. Posteriormente, se deberá tomar una muestra como mínimo de un metro lineal por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté

totalmente seca y limpia y se deberá empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante, debidamente identificada (número de lote, referencia del producto, etc.).

• Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

1. Calidad del ligante asfáltico

El ligante (cemento asfáltico o emulsión asfáltica), deberá cumplir los requisitos de calidad establecidos (ASTM D-5).

2. Calidad de la geomalla

Cada despacho de geomalla deberá ser sometido a un proceso de conformidad de las especificaciones y de la normas ASTM D-6637, que se refieren a la metodología de muestreo para ensayos y la práctica para dar la conformidad de las especificaciones de los geosintéticos por usar, según los valores establecidos por esta especificación, independientemente que venga acompañado de una certificación o declaración del laboratorio del fabricante que garantiza que el producto satisface las exigencias indicadas en los documentos del proyecto. Por ningún motivo se aceptarán geomallas rasgadas, agujereadas o usadas. Las especificaciones de las geomallas deben presentarse en valores mínimos promedio por rollo (VMPPR).

• Declaración del fabricante de la geomalla con respecto a su producto

El constructor debe suministrar una declaración donde se establezca el nombre del fabricante, el nombre del producto, composición química relevante de los filamentos o cintas y otra información pertinente que describa totalmente la geomalla.

El fabricante es responsable de establecer y mantener un programa de control de calidad. Este deberá estar disponible cuando se requiera, mediante un documento que describa

el programa de control de calidad de la producción.

La declaración del fabricante hace constar que la geomalla suministrada ofrece valores mínimos promedio por rollo "VMPR", de acuerdo con lo establecido en su hoja de especificaciones de producto, obtenidos bajo el programa de control de calidad del fabricante.

La declaración deberá ser expedida por una persona que tenga el reconocimiento legal, de tal forma que comprometa al fabricante.

Un error en el etiquetado o de presentación de los materiales, será razón suficiente para rechazar estas geomallas.

• **Calidad del trabajo terminado**

Se aceptarán todos los trabajos de pavimentación o repavimentación donde las dimensiones y los lineamientos se ajusten a los requerimientos del proyecto y cuyos materiales y procedimientos de ejecución se ajusten a lo prescrito en las especificaciones.

• **Medición**

La unidad de medida de la geomalla será el metro cuadrado (m²), aproximado al décimo del metro cuadrado de geomalla medido en obra, colocado de acuerdo con los planos y las especificaciones, sin incluir los traslapes.

Metodología

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo mediante tres etapas:

-Recopilación de información: consistió en la búsqueda de datos importantes sobre las técnicas utilizadas en la construcción y mantenimiento de las carreteras y los materiales utilizados para estos fines, tales como los asfaltos, la emulsión asfáltica, las geogrillas, entre otros, basados principalmente en las obras de este tipo que han sido desarrolladas en el país.

-Desarrollo del planteamiento sobre el estudio de un diseño de la estructura de pavimento, incorporando el uso de la geomalla para analizar si con esta se pueden reducir los espesores de la capa asfáltica comparándolo con la reconstrucción total de la estructura de pavimento.

-Observación de la implementación de la geomalla en un proyecto vial, para así poder analizar las ventajas de esta en el proyecto y el análisis de los resultados.

Lo que se buscó lograr con esta investigación fue mostrar el impacto y los beneficios de la aplicación de la geomalla en los proyectos viales del país, y cómo se puede implementar de manera eficiente logrando una disminución en los costos del proyecto; así como también alargando la vida útil de los materiales, evitando que estos presenten problemas de vulnerabilidad frecuentes en este tipo de vías, como son el ahuellamiento y las fisuras ocasionadas por fatiga del material bituminoso.

Resultados

Uno de los mecanismos para evitar la reflexión de grietas es el uso de geomallas biaxiales para el refuerzo de sobrecapas asfálticas. A pesar de que no existe una metodología aceptada generalizadamente para estimar su aporte estructural, sí existen varios estudios teóricos y experimentales que reconocen su aporte para alargar la vida útil del pavimento.

Ling y Liu (2003) utilizaron un análisis de elemento finito que luego validaron con pruebas de laboratorio. Los especímenes fueron placas de carpeta asfáltica de 47 mm de espesor, 600 mm de largo y 200 mm de ancho apoyadas sobre una subrasante de arena Ottawa de 30 cm. Se compararon muestras reforzadas con una geomalla biaxial de polipropileno con una resistencia a tensión de 46 kN/m con otras sin refuerzo. Se notó que la carga de falla se incrementó en un factor de entre 1,9 y 2,5 al utilizar geomalla. No obstante, para un mismo grado de deformación, el efecto de la geomalla disminuía conforme la capacidad de la subrasante aumentaba. Debe destacarse que para acercarse más a la realidad se necesita la aplicación de cargas cíclicas y de magnitud similar a las de los vehículos de diseño.

Montestruque et al. (2004) realizaron pruebas de fatiga a vigas de concreto asfáltico (75 mm de espesor, 150 mm de ancho y 460 mm de largo) con una grieta premoldeada de amplitud variable. Se utilizaron geomallas biaxiales de poliéster con una resistencia a tensión de 50 kN/m. Se obtuvo que el número de ciclos de carga con geomalla dividida entre el número de ciclos sin geomalla (factor de efectividad) oscilaron entre 4,60 y 6,14.

Khodaii y Fallah (2008) también realizaron pruebas con geomallas biaxiales de poliéster de 50 kN/m. El espécimen consistía en una sobrecapa de 75 mm de espesor (150 mm de ancho y 380 mm de largo) sobre una capa de pavimento agrietado de 100 mm de espesor que, a su vez, se colocó sobre una capa de neopreno. Se diferenció entre colocar la geomalla a la mitad de la sobrecapa o a un tercio de la altura. Esta última opción fue más ventajosa, con factores de efectividad entre 3,7 y 6,1. Resalta la coincidencia en los resultados con los obtenidos por Montestruque et al.

Thom (2003) desarrolló predicciones basadas en el programa OLCRACK, para calcular el beneficio en la vida útil del pavimento al incluir una geomalla con diferentes tipos de pavimentos. Mientras que para sobrecapas sobre carpeta asfáltica agrietada se espera un aumento en la vida de la estructura superior a 6, para pavimento semirrígido dicho factor se encontraba entre 2,5 y 3,0.

Otras investigaciones citadas en la ficha técnica del producto GlasGrid®, de la empresa Tensar, también indican un aumento en la vida útil de entre dos y tres al emplear la geomalla de fibra de vidrio.

El efecto de la inclusión de una geomalla podría estimarse como una reducción en el espesor de la sobrecapa o como un aumento en su vida útil.

De la primera forma, al incluir la geomalla, se diseñara para la mitad de los ejes equivalentes del período de diseño.

También podría interpretarse que con los mismos cm de espesor de sobrecarpeta, si se

incorpora la geomalla, se aumenta la vida útil del mismo.

Seguidamente, se presentará un análisis de la ruta que se encuentra ubicada en la Región III Pacífico Central (Orotina-Parrita-Quepos), Zona 3-2, exactamente la Ruta Nacional No. 34 (Costanera Sur) tramo entre la Palma (Intersección Ruta Nacional No 239) y la Julieta (Río Parrita), en el cantón de Parrita. Tiene una longitud de 6,245 km y pertenece a la sección de control 60081.

Según inspección, la capacidad estructural de este pavimento en su longitud, sigue siendo muy buena; sin embargo, el nivel de regularidad superficial se ha desplazado a una condición regular, donde la calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito.

Los defectos superficiales en el pavimento semirrígido incluyen deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de severidad baja y este pavimento demanda una intervención de tipo mantenimiento de preservación.

En este caso, se pueden considerar labores de colocación de una sobrecapa de mezcla asfáltica para periodos igual o mayores a los 4 años.

Se elaborará un diseño de sobrecapas asfálticas, con los datos obtenidos para varios periodos de vida útil (4, 8, 12 y 15 años), para que, luego, con los resultados adquiridos en el diseño, aplicar el uso de las geogrillas y así verificar los objetivos del trabajo de investigación.

Con las estimaciones de tránsito de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), para la Ruta Nacional 34, La Palma (R.239) - La Julieta (Río Parrita), se efectuó el cálculo de los ejes equivalentes para los periodos de diseño indicado, a partir del año 2013.

Utilizando la metodología AASHTO para un nivel de confianza del 90%, se calculó el espesor de sobrecapa, necesario para los periodos de

diseño propuesto que aseguren un nivel de servicio terminal aceptable (PSI = 2.5).

El nivel de confianza y el nivel de servicio terminal se han seleccionado de conformidad con la directriz del despacho del Sr. Viceministro de Obras Públicas, mediante oficio No. DVOP-5170-07, del 10 de setiembre del 2007, mostrada en el Anexo 4, de acuerdo con la clasificación de la vía (primaria) y con el Tránsito Promedio Diario (8077 en el año 2013), directriz que se resume en el siguiente cuadro:

CUADRO 2. NIVEL DE CONFIANZA E ÍNDICE DE SERVICIO TERMINAL PARA TPD			
Zona	TPD	Nivel de Confianza %	Índice de Servicio Terminal PSI
Rutas Primarias	Menor a 500	75	2.0
	Entre 500 y 2000	85	2.5
	Mayor de 2000	90	2.5
Rutas Secundarias	Menor a 500	70	2.0
	Entre 500 y 2000	80	2.0
	Mayor de 2000	85	2.5
Rutas Terciarias	Menor a 500	70	2.0
	Entre 500 y 2000	75	2.0
	Mayor de 2000	80	2.0

Estimaciones de tránsito y cálculo de ejes equivalentes

Tránsito Promedio Diario

El Tránsito Promedio Diario y demás información correspondiente, fue obtenida de la información suministrada por la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) para la Ruta Nacional 34, La Palma (R.239) - La Julieta (Río Parrita). En esta se suministran los conteos realizados para el año 2011 y la distribución porcentual del tránsito por clase de vehículo que deberá emplearse en el diseño.

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de la información obtenida para el año 2013. En los Anexos 2 y 3 se presenta la totalidad de la información correspondiente al Tránsito Promedio Diario y al crecimiento anual.

CUADRO 3. PORCENTAJE DE VEHÍCULOS LIVIANOS Y PESADOS PARA EL TPD 2013				
Estación No.	TPD (2013)	Tramo	% Livianos	% Pesados
744	8077	La Palma (R.239) - La Julieta (Río Parrita)	82,85	17,15

Distribución porcentual de tránsito

La composición porcentual del tránsito vehicular adoptada para diseño, tomando como base los conteos realizados por la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), se resume en el siguiente cuadro:

CUADRO 4. Distribución Porcentual por Tipo de Vehículo						
Zona 3-2, Ruta Nacional No.34, Sección de Control 60081 La Palma (R.239)- La Julieta (Río Parrita)						
Estación No	Pasajeros	Carga Liviana	Buses	C2	C3	T3-S2
744	65,31	17,54	2,63	7,44	2,12	4,96

Factores de equivalencia y estimación de ejes equivalentes

Para la estimación de los ejes equivalentes para los períodos de diseño propuestos, se utilizaron los factores de equivalencia que se muestran en el siguiente cuadro:

CUADRO 5. Factores de equivalencia por tipo de vehículo	
Zona 3-2, Ruta Nacional No.34, Sección de Control 60081 La Palma (R.239) - La Julieta (Río Parrita)	
TIPO DE VEHÍCULO	FACTOR DE EQUIVALENCIA
Livianos	0.004
Bus	1.710
Carga Liviana	0.020
Camión C2	0.630
Camión C3	1.280
Camión T3-S2	2.380

Los factores de equivalencia detallados en la tabla anterior, son los que recomienda utilizar el CONAVI, de conformidad con los lineamientos y directrices emitidos por el despacho del Sr. Viceministro de Obras Públicas, mediante oficio

No. DVOP-5170-07, de fecha 10 de setiembre del 2007, adjunto en el Anexo 4.

Se seleccionaron para todos los tipos de vehículos, excepto para los autobuses, los valores máximos recomendados. La razón para aumentar los factores camión correspondiente, es debido a la poca cantidad de controles de los camiones pesados que circulan con sobrepeso en las vías nacionales y vías cantonales, debido a que este factor acelera el deterioro de las carreteras. En los Apéndices 2 y 3 se detalla la proyección del tránsito y el cálculo de los ejes equivalentes para los periodos de diseño propuestos. Así mismo, los parámetros utilizados y resultados obtenidos en este cálculo, se detallan en el siguiente cuadro:

CUADRO 6. Ejes equivalentes para cada periodo de diseño				
Zona 3-2, Ruta Nacional No.34, Sección de Control 60081 La Palma (R.239) - La Julieta (Río Parrita)				
Año Base	F. carril	F. sentido	Periodo de diseño	Ejes equivalentes
2012	1,00	0,50	4 años	1 645 595
	1,00	0,50	8 años	3 902 848
	1,00	0,50	12 años	6 798 864
	1,00	0,50	15 años	9 360 178

Valoración del pavimento existente y selección del CBR de diseño

Investigación de campo y ensayos de laboratorio (Informe de Laboratorio No. ITP-PM-314-12.

En la exploración del pavimento, con la ayuda de Ingeniería Técnica de Pavimentos (ITP), se realizó un estudio de campo para reconocer y determinar tanto la caracterización del material existente en la superficie de ruedo actual, como en la de la subrasante, estudio que sirvió de base para desarrollar el proceso de diseño de la estructura de pavimento.

Este consistió en la realización de tres excavaciones a cielo abierto, realizadas en forma aleatoria, en las cuales se tomaron muestras de:

1. El material existente superficie de ruedo, al cual se le midió su espesor y se le realizaron los ensayos de laboratorio requeridos para determinar sus características de granulometría, límites de Atterberg, capacidad soportante y su respectiva clasificación de acuerdo con la normativa AASHTO.
2. El material presente en la subrasante, al cual, tal y como es requerido por la Norma de Diseño AASHTO, se le realizó pruebas de límites de Atterberg, Próctor Estándar para determinar su densidad máxima con su respectiva humedad óptima, la determinación de su capacidad de soporte C.B.R al 91% y la clasificación correspondiente de acuerdo con la normativa AASHTO y S.U.C.S.

A las muestras recuperadas en campo, el laboratorio les realizó diversas pruebas, las cuales se indican en el siguiente cuadro:

CUADRO 7. Tipos de ensayos y su designación ASTM y AASHTO		
Ensayo	Designación ASTM	Designación AASHTO
Humedad Natural	D-2216	T-93
Graduación	D-421/422	T-27/11
Límites de Atterberg	D-423, D-424	T-89/90
Próctor Estándar	D-698	T-99
Próctor Modificado	D-1557	T-180
C.B.R *	D-1883	T-193
Clasificación SUCS	D-2487	
Clasificación AASHTO	D-3282	M-145

* Índice de Soporte de California

Características de los materiales existentes

De acuerdo con la investigación de campo efectuada por el Laboratorio Ingeniería Técnica de Pavimentos, se presentan a continuación las características actuales de la carretera y de los materiales presentes en ella, según los resultados de campo y de laboratorio obtenidos.

Capa de rodamiento existente

La superficie de ruedo, es una carpeta de mezcla asfáltica que incluye deformaciones, baches reparados y agrietamientos de severidad baja. Se detallan en los cuadros siguientes, el material base actual, material subbase y material subrasante.

CUADRO 8. CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE	
Muestra No.	Espesor (cm)
1	11
2	10
3	11
4	10
5	11
6	20

CUADRO 9. CARACTERIZACIÓN DE BASE EXISTENTE									
PROYECTO RUTA NACIONAL NO 34									
ZONA 3-2, QUEPOS, SECCIÓN DE CONTROL 60081 LA PALMA (RUTA 239) - LA JULIETA (RÍO PARRITA)									
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MATERIAL DE BASE									
Muestra	Muestra código.	ESPESOR (cm)	Humedad Óptima %	Densidad Máxima	CBR al 95%	LL	IP	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO
#1	2870-12	35	16,1	2057	87	N.P	NP	GW	A--1-a
#2	2870-12	30	15,6	2068	81	N.P	NP	GW	A--1-a
#3	2870-12	32	17,7	2094	85	N.P	NP	GW	A--1-a
#4	2870-12	31	16	2084	84	N.P	NP	GW	A--1-a
#5	2870-12	34	15,9	2087	81	N.P	NP	GW	A--1-a
#6	2870-12	15	16,7	2096	83	N.P	NP	GW	A--1-a
PROMEDIO		29,5			83,5	---	---	---	---
STV		7,34	---	---	2,35	---	---	---	---
PROMEDIO -STV		22,16	---	---	81,15				
PERCENTIL 85		26			81				
CBR DE DISEÑO RECOMENDADO					81				

CUADRO 10. CARACTERIZACIÓN DE SUB BASE EXISTENTE									
PROYECTO RUTA NACIONAL NO 34									
ZONA 3-2, QUEPOS, SECCIÓN DE CONTROL 60081 LA PALMA (RUTA 239) - LA JULIETA (RÍO PARRITA)									
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MATERIAL DE SUB BASE									
Muestra	Muestra código.	ESPESOR (cm)	Humedad Óptima %	Densidad Máxima	CBR al 95%	LL	IP	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO
#1	2870-12	44	17,1	1924	49	N.P	NP	GW	A--1-a
#2	2870-12	42	20	1917	51	N.P	NP	GW	A--1-a
#3	2870-12	41	19,3	2001	47	N.P	NP	GW	A--1-a
#4	2870-12	45	20,7	2009	44	N.P	NP	GW	A--1-a
#5	2870-12	41	18,8	1999	48	N.P	NP	GW	A--1-a
#6	2870-12	45	18	1974	49	N.P	NP	GW	A--1-a
PROMEDIO		43			48	---	---	---	---
STV		1,9	---	---	2,37	---	---	---	---
PROMEDIO -STV		41,1	---	---	45,63				
PERCENTIL 85		41			46				
CBR DE DISEÑO RECOMENDADO					46				

CUADRO 11. CARACTERIZACIÓN DE SUB RASANTE									
PROYECTO RUTA NACIONAL NO 34									
ZONA 3-2, QUEPOS, SECCIÓN DE CONTROL 60081 LA PALMA (RUTA 239) - LA JULIETA (RÍO PARRITA)									
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MATERIAL DE SUBRASANTE									
Muestra	Muestra código.	% Pasando 10/40/200	Humedad Óptima %	Densidad Máxima	CBR al 91%	LL	IP	CLASIF. SUCS	CLASIF. AASHTO
#1	2870-12	100/100/95,7	33,6	1291	5,5	52	23	MH	A-7-6 (26)
#2	424-12	100/100/95,1	36,9	1248	5,4	54	24	MH	A-7-6 (26)
#3	424-12	100/100/94,7	38,8	1230	5,3	56	26	MH	A-7-6 (26)
#4	424-12	100/100/95,9	36,5	1287	5,6	54	23	MH	A-7-6 (26)
#5	424-12	100/100/96,2	39	1244	5,1	52	22	MH	A-7-6 (26)
#6	424-12	100/100/95,0	38,4	1278	5,6	53	21	MH	A-7-6 (26)
PROMEDIO		---	---	---	5,4	38	---	---	---
STV		---	---	---	0,19	---	---	---	---
PROMEDIO -STV		---	---	---	5,22				
PERCENTIL 85					5,25				
CBR DE DISEÑO RECOMENDADO					5,2				

Estudio deflectométrico

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LANAMME, realizó un estudio deflectométrico con mediciones a cada 500 metros con deflectómetro de impacto FWD. La deflexión representativa de rebote de la sección 60081 se muestra en el siguiente cuadro. En el Anexo 1 se muestra la totalidad del estudio deflectométrico.

CUADRO 12. DEFLEXIÓN REPRESENTATIVA DE REBOTE Zona 3-2, Ruta Nacional No.34, Sección de Control 60081 La Palma (R.239) - La Julieta (Río Parrita)			
Ruta	Sección de control	Deflexión representativa de rebote corregida (1/100 mm)	Deflexión representativa de rebote (1/100 mm)
34	60081	50,36	77,48

Se considera una deflexión patrón la que se produce en el pavimento a 20°C en el período crítico de exposición. Según la metodología AASHTO, la deflexión medida puede utilizarse, entre otras cosas, para la "evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos flexibles y semi-rígidos". En este contexto, uno de los procedimientos para llevar a cabo esta evaluación es la "técnica de predicción de los módulos resilientes de las capas de pavimento".

El objetivo de esta técnica es retro calcular, a partir de la medida de la deflexión representativa de rebote, todos los módulos elásticos en sitio de las capas de pavimento. La premisa fundamental de esta solución es que existe únicamente un set de módulos tal que la deflexión teórica calculada, la cual es aproximada mediante el método Gauss-Jordan, usando el método elástico-lineal multicapa, es equivalente a la deflexión medida por el deflectómetro de impacto FWD.

El análisis de los módulos obtenidos en el retro cálculo, permite emitir criterio del posible comportamiento en el tiempo del pavimento analizado.

Retro cálculo de módulos resiliente

Tanto el modelo establecido por la AASHTO para el dimensionamiento de estructuras de pavimento, como los modelos utilizados para analizar los esfuerzos y las deformaciones en las capas del pavimento, requieren obtener parámetros dinámicos esfuerzo-deformación de los materiales involucrados.

Con la utilización del programa elástico lineal ELSYM5, se modeló la estructura existente, variando los módulos elásticos de los materiales de tal forma que se lograra obtener la deflexión real obtenida del tramo en estudio.

Aplicaciones del modelo

Seguidamente se procedió a variar los módulos elásticos de los materiales que conforman las capas del pavimento y se corrió el programa (como método iterativo) una y otra vez hasta que se logra una deflexión semejante a la medida en el campo (existen otros software tales como modulus y everstress).

Resultados del programa

En las hojas de salida del programa adjuntas en el Apéndice 13, se puede observar que la deflexión teórica calculada para el pavimento construido es 0,01984 pulgadas, que se asemeja a 0,019828 pulgadas medidas.

Esta deflexión calculada corresponde a un pavimento formado por:

CUADRO 13. ESPESOR PROMEDIO Y MÓDULO RESILIENTE POR TIPO DE CAPA		
Zona 3-2, Ruta Nacional No.34, Sección de Control 60081 La Palma (R.239) - La Julieta (Río Parrita)		
Tipo de capa	Espesor promedio (cm)	Módulo resiliente (psi)
Carpeta asfáltica	10	370 000
Base granular	26	30 500
Subbase granular	41	15 100
Subrasante	Semi-infinita	14 600

Estimación del remanente estructural

Con los módulos estimados y con el empleo de la metodología AASHTO para una confiabilidad del 90%, se calculó el remanente estructural del tramo en estudio y el requerido para un periodo de diseño de 4, 8, 12 y 15 años. En los Apéndices 5, 6, 7 y 8 se detallan los cálculos, que se resumen en el siguiente cuadro:

CUADRO 14. ESTIMACIÓN DEL REMANENTE ESTRUCTURAL		
Período	SN Remanente	SN Requerido
4	5,53	6,11
8	5,53	6,83
12	5,53	7,33
15	5,53	7,62

Parámetros de diseño

• Subrasante

De acuerdo con la información obtenida, la subrasante en general son limos arcillosos. En el Anexo 5 se detalla lo relacionado con el cálculo de la subrasante:

CUADRO 15. Mr de la Subrasante	
VALOR DEL CBR	Mr calculado con base en las deflexiones medidas
5.20%	4800 psi

• Sub base granular

Un valor de CBR mínimo de 46%, lo que significa:
 $Mr = 15.100 \text{ psi}$
 $a_3 = 0.110$
 $m_3 = 0.8$ (coeficiente de drenaje)

• Base granular

Un valor de CBR mínimo de 81%, lo que significa:
 $Mr = 30.500 \text{ psi}$
 $a_3 = 0.140$
 $m_3 = 0.8$ (coeficiente de drenaje)

- **Carpeta asfáltica existente**

Mr = 370 000 psi
a2 = 0.400
m3 = 1.0 (coeficiente de drenaje)

- **Materiales asfálticos en caliente**

Carpeta asfáltica nueva:
Mr = 450 000 psi
a2 = 0.44

Diseño de la estructura de un pavimento

El dimensionamiento de la estructura de pavimento se realizó con la utilización de la Guía de Diseño de Pavimentos, versión 1993 de AASHTO.

En el siguiente cuadro se resumen los valores adoptados para cada material que conformarán las estructuras de pavimento por analizar:

CUADRO 16. Valores de Mr, Ai, mi de los materiales Zona 3-2, Ruta Nacional No. 34, Sección de Control 60081 La Palma (R. 239)- La Julieta (Río Parrita)			
Capa	MR (psi)	Ai	mi
Carpeta asfáltica nueva	450.000	0,440	1.0
Carpeta asfáltica existente	370.000	0,400	1.0
Base granular CBR ≥ 80	30.500	0,140	0.8
Sub Base granular CBR ≥ 30	15.100	0,110	0.8
Sub- rasante CBR = 5.2%	4.800	x	x

En el siguiente cuadro se muestran los parámetros considerados en el diseño:

CUADRO 17. Parámetros para Diseño Zona 3-2, Ruta Nacional No. 34, Sección de Control 60081 La Palma (R. 239)- La Julieta (Río Parrita)	
PSI inicial	4.20
PSI Terminal	2.50
R (%)	90
So Pavimento recapado	0.49

Estructura de pavimento para mantenimiento

- **Para un período de 4 años**

La estructura que satisface el requerimiento estructural para un periodo de 4 años es la que se muestra a continuación:

CUADRO 18. Información diseño del pavimento existente		
Espesor de la carpeta asfáltica (in):	3,94	10 cm
Espesor de la base granular (in):	10,24	26 cm
Espesor de la subbase granular (in):	16,14	41 cm
Subrasante:	Limo arcilloso	

Se presentan en el siguiente cuadro, las variables del modelo para el cálculo de la capacidad estructural requerida para un nuevo período de diseño (S_{nf}):

CUADRO 19. Variables del Modelo para el cálculo de SN_f			
Ejes equivalentes de diseño	1.645.695	Serviciabilidad final Pt	2,5
Nivel de confianza de Z_r	90%	Cambio en el nivel de servicio Δ PSI	1,7
Desviación estándar de S_o	0,49	Periodo de diseño (años)	4
Serviciabilidad inicial P_o	4,2	Mr de la Subrasante (psi)	1882

Con las variables antes citadas, se puede resolver la ecuación AASHTO 93:

CUADRO 20. Resolviendo Ecuación AASHTO 93	
Pavimento Flexible	
Confiabilidad (R)	90% $Z_r = 1,282$
Desviación Estándar (S_o)	0,49
Serviciabilidad Inicial PSI Inicial	4,2
Serviciabilidad Final PSI Final	2,5
Módulo resiliente de la subrasante Mr	1882 psi
Ejes Equivalentes Diseño	1645595
SN	6,11

Resolviendo la ecuación por medio del Software:

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is configured for flexible pavement design. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento flexible'. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90% $Z_r = -1.282$ ' and 'So = 0.49'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.5'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 1882 psi'. The 'Tipo de Análisis' section shows 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 1645595' and 'SN = 6.11' displayed. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are visible at the bottom.

Figura 13. Ecuación AASHTO 93 para 4 años.

A continuación, por medio de la fórmula citada, en el siguiente cuadro se calcula el número estructural efectivo del pavimento existente:

CUADRO 21. Determinación del número (S_{neff})	
$S_{neff} = 0.0045 \times D \times \sqrt[3]{E_p}$	$E_p(\text{psi}) = 66.545$
$D(\text{in}) = 30,31$	$S_{neff} = 5,53$

Determinación del espesor de la sobre capa sobre el pavimento existente (D_{ol}), por medio de la siguiente fórmula:

$$D_{ol} = \frac{|SN_{ol}|}{a_{ol}} = \frac{SN_f - N_{eff}}{a_{ol}}$$

$$a_{ol} = 0,44$$

El espesor de la sobrecapa D_{ol} para las condiciones de diseño de 4 años =

$$D_{ol}(\text{in}) = 1,32$$

$$D_{ol}(\text{cm}) = 3,4$$

- **Para un período de 8 años**

La estructura que satisface el requerimiento estructural para un período de 8 años, es la que se muestra a continuación:

CUADRO 22. Información diseño del pavimento existente		
Espesor de la carpeta asfáltica (in):	3,94	10 cm
Espesor de la base granular (in):	10,24	26 cm
Espesor de la subbase granular (in):	16,14	41 cm
Subrasante:	Limo arcilloso	

Se presentan en el siguiente cuadro, las variables del modelo para el cálculo de la capacidad estructural requerida para un nuevo periodo de diseño (S_{nf}):

CUADRO 23. Variables del Modelo para el cálculo de S _{nf}			
Ejes equivalentes de diseño	3.902.848	Serviciabilidad final P _t	2,5
Nivel de confianza de Z _r	90%	Cambio en el nivel de servicio Δ PSI	1,7
Desviación estándar de S _o	0,49	Período de diseño (años)	8
Serviciabilidad Inicial P _o	4,2	Mr de la Subrasante (psi)	1882

Con las variables antes citadas se puede resolver la ecuación AASHTO 93:

CUADRO 24. Resolviendo Ecuación AASHTO 93	
Pavimento Flexible	
Confiability (R)	90% Z _r = 1,282
Desviación Estándar (S _o)	0,49
Serviciabilidad Inicial PSI Inicial	4,2
Serviciabilidad Final PSI Final	2,5
Módulo resiliente de la subrasante Mr	1882 psi
Ejes Equivalentes Diseño	3902848
SN	6,83

Resolviendo la ecuación por medio del Software:

Figura 14. Ecuación AASHTO 93 para 8 años.

A continuación, por medio de la fórmula citada, en el siguiente cuadro se calcula el número estructural efectivo del pavimento existente:

CUADRO 25. Determinación del número (S _{neff})	
$S_{Neff} = 0.0045 \times D \times \sqrt[3]{E_p}$	$E_p(\text{psi}) = 66.545$
$D(\text{in}) = 30,31$	$S_{Neff} = 5,53$

Determinación del espesor de la sobre capa sobre el pavimento existente (D_{ol}), por medio de la siguiente fórmula:

$$D_{ol} = \frac{|S_{N_{ol}}|}{a_{ol}} = \frac{S_{N_f} - N_{eff}}{a_{ol}}$$

Espesor de la sobrecapa Dol para las condiciones de diseño de 8 años:

Dol (in) = 2,96
Dol (cm) = 7,5

- **Para un período de 12 años**

La estructura que satisface el requerimiento estructural para un periodo de 12 años, es la que se muestra a continuación:

CUADRO 26. Información diseño del pavimento existente		
Espesor de la carpeta asfáltica (in):	3,94	10 cm
Espesor de la base granular (in):	10,24	26 cm
Espesor de la subbase granular (in):	16,14	41 cm
Subrasante:	Limo arcilloso	

Se presentan en el siguiente cuadro, las variables del modelo para el cálculo de la capacidad estructural requerida para un nuevo período de diseño (S_{nf}):

CUADRO 27. Variables del Modelo para el cálculo de S _{nf}			
Ejes equivalentes de diseño	6.798.864	Serviciabilidad final Pt	2,5
Nivel de confianza de Z _r	90%	Cambio en el nivel de servicio Δ PSI	1,7
Desviación estándar de S _o	0,49	Periodo de diseño (años)	12
Serviciabilidad Inicial P _o	4,2	Mr de la Subrasante (psi)	1882

Con las variables antes citadas, se puede resolver la ecuación AASHTO 93:

CUADRO 28. Resolviendo Ecuación AASHTO 93	
Pavimento Flexible	
Confiability (R)	90% Z _r = 1,282
Desviación Estándar (S _o)	0,49
Serviciabilidad Inicial PSI Inicial	4,2
Serviciabilidad Final PSI Final	2,5
Módulo resiliente de la subrasante Mr	1882 psi
Ejes Equivalentes Diseño	6798864
SN	7,33

Resolviendo la ecuación por medio del Software:

Figura 15. Ecuación AASHTO 93 para 12 años.

A continuación, por medio de la fórmula citada, en el siguiente cuadro se calcula el número estructural efectivo del pavimento existente:

CUADRO 29. Determinación del número (S _{neff})	
$S_{Neff} = 0.0045 \times D \times \sqrt[3]{E_p}$	$E_p(\text{psi}) = 66.545$
D (in) = 30,31	S _{Neff} = 5,53

Determinación del espesor de la sobre capa sobre el pavimento existente (Dol), por medio de la siguiente fórmula:

$$D_{ol} = \frac{|SN_{ol}|}{a_{ol}} = \frac{SN_f - N_{eff}}{a_{ol}}$$

Espesor de la sobrecapa Dol para las condiciones de diseño de 12 años:

Dol (in) = 4,10
Dol (cm) = 10,4

• **Para un período de 15 años**

La estructura que satisface el requerimiento estructural para un periodo de 15 años, es la que se muestra a continuación:

CUADRO 30. Información diseño del pavimento existente		
Espesor de la carpeta asfáltica (in):	3,94	10 cm
Espesor de la base granular (in):	10,24	26 cm
Espesor de la subbase granular (in):	16,14	41 cm
Subrasante:	Limo arcilloso	

Se presentan en el siguiente cuadro, las variables del modelo para el cálculo de la capacidad estructural requerida para un nuevo período de diseño (S_{nf}):

CUADRO 31. Variables del Modelo para el cálculo de S _{nf}			
Ejes equivalentes de diseño	9.360.178	Serviciabilidad final P _t	2,5
Nivel de confianza de Z _r	90%	Cambio en el nivel de servicio Δ PSI	1,7
Desviación estándar de S _o	0,49	Periodo de diseño (años)	15
Serviciabilidad Inicial P _o	4,2	Mr de la Subrasante (psi)	1882

Con las variables antes citadas, se puede resolver la ecuación AASHTO 93:

CUADRO 32. Resolviendo Ecuación AASHTO 93	
Pavimento Flexible	
Confiability (R)	90% Z _r = 1,282
Desviación Estándar (S _o)	0,49
Serviciabilidad Inicial PSI Inicial	4,2
Serviciabilidad Final PSI Final	2,5
Módulo resiliente de la subrasante Mr	1882 psi
Ejes Equivalentes Diseño	9360178
SN	7,62

Resolviendo la ecuación por medio del Software:



Figura 16. Ecuación AASHTO 93 para 15 años.

A continuación, por medio de la fórmula citada, en el siguiente cuadro se calcula el número estructural efectivo del pavimento existente:

CUADRO 33. Determinación del número (S _{neff})	
S _{Neff} = 0.0045 x D x ³ √Ep	Ep (psi) = 66.545
D (in) = 30,31	S _{Neff} = 5,53

Determinación del espesor de la sobre capa sobre el pavimento existente (Dol), por medio de la siguiente fórmula:

$$D_{ol} = \frac{|SN_{ol}|}{a_{ol}} = \frac{SN_f - N_{eff}}{a_{ol}}$$

Espesor de la sobrecapa Dol para las condiciones de diseño de 15 años:

Dol (in) = 4,72
Dol (cm) = 12,1

Estructura de pavimento para mantenimiento con geomalla

Para obtener y verificar los resultados de este proyecto, se analizaron los resultados de sobrecapa obtenidos en el diseño para periodos de 12 y 15 años de vida útil, ya que son los mayores espesores para obtener mejores resultados y, además, los que permitirían a la hora de colocar una geomalla de pavimentación prenivelar con asfalto primero y luego colocar la cantidad o espesor necesario de mezcla asfáltica en caliente sobre esta.

Es importante mencionar que el método que se utilizó fue para verificar que las geogrillas pueden reducir el espesor de una sobre capa para repavimentación de una carretera.

Esto consiste en que el diseñador de una sobrecapa asfáltica puede, como medida para reducir espesores de la sobrecapa, interpretar el aumento de la vida útil que certifica un fabricante determinado de geomallas, de la siguiente forma:

Si el fabricante garantiza que con la geomalla la vida útil del pavimento se verá duplicada, entonces, cuando se diseña la sobre capa, la forma de reflejar este beneficio en el diseño será reduciendo a la mitad el número de ejes equivalentes para el cual se diseña; es decir, si antes para un periodo de 4 años se debía diseñar para 1.645.595 ejes equivalentes, ahora se deberá diseñar para 822.798.

Se detalla en el siguiente cuadro la cantidad de ejes equivalentes por período de diseño utilizando el refuerzo con la geomalla:

CUADRO 34. Ejes equivalentes por período de diseño utilizando geomalla				
Año Base	F. carril	F. sentido	Período de diseño	Ejes equivalentes
2012	1,00	0,50	4 años	822 798
	1,00	0,50	8 años	1 951 424
	1,00	0,50	12 años	3 399 432
	1,00	0,50	15 años	4 680 089

- **Para un período de 12 años**

La estructura que satisface el requerimiento estructural para un período de 12 años con la utilización de la geogrilla, es la que se muestra a continuación:

CUADRO 35. Información diseño del pavimento existente		
Espesor de la carpeta asfáltica (in):	3,94	10,0 cm
Espesor de la base granular (in):	10,24	26 cm
Espesor de la subbase granular (in):	16,14	41 cm
Subrasante:	Limo arcilloso	

Se presentan en el siguiente cuadro, las variables del modelo para el cálculo de la capacidad estructural requerida para un nuevo período de diseño (S_{nf}):

CUADRO 36. Variables del Modelo para el cálculo de SN_f

Ejes equivalentes de diseño	3.399.432	Serviciabilidad final Pt	2,5
Nivel de confianza de Z_r	90%	Cambio en el nivel de servicio Δ PSI	1,7
Desviación estándar de S_o	0,49	Período de diseño (años)	12
Serviciabilidad Inicial P_o	4,2	Mr de la Subrasante (psi)	1882

Con las variables antes citadas, se puede resolver la ecuación AASHTO 93:

CUADRO 37. Resolviendo Ecuación AASHTO 93

Pavimento Flexible	
Confiabilidad (R)	90% $Z_r = 1,282$
Desviación Estándar (S_o)	0,49
Serviciabilidad Inicial PSI Inicial	4,2
Serviciabilidad Final PSI Final	2,5
Módulo resiliente de la subrasante Mr	1882 psi
Ejes Equivalentes Diseño	3.399.432
SN	6,71

Resolviendo la ecuación por medio del Software:

Figura 17. Ecuación AASHTO 93 para 12 años con geomalla.

A continuación, por medio de la fórmula citada, en el siguiente cuadro se calcula el número estructural efectivo del pavimento existente:

CUADRO 38. Determinación del número (Sneff)	
$S_{Neff} = 0.0045 \times D \times \sqrt[3]{E_p}$	$E_p(\text{psi}) = 66.545$
$D(\text{in}) = 30,31$	$S_{Neff} = 5,53$

Determinación del espesor de la sobre capa sobre el pavimento existente (Dol), por medio de la siguiente fórmula:

$$D_{ol} = \frac{|SN_{ol}|}{a_{ol}} = \frac{SN_f - N_{eff}}{a_{ol}}$$

Espesor de la sobrecapa Dol para las condiciones de diseño de 12 años:

Dol (in) = 2,68
Dol (cm) = 6,8

• **Para un período de 15 años**

La estructura que satisface el requerimiento estructural para un periodo de 15 años con la utilización de la geogrilla, es la que se muestra a continuación:

CUADRO 39. Información diseño del pavimento existente		
Espesor de la carpeta asfáltica (in):	3,94	10 cm
Espesor de la base granular (in):	10,24	26 cm
Espesor de la subbase granular (in):	16,14	41 cm
Subrasante:	Limo arcilloso	

Se presentan en el siguiente cuadro, las variables del modelo para el cálculo de la capacidad estructural requerida para un nuevo período de diseño (S_{nf}):

CUADRO 40. Variables del Modelo para el cálculo de S _{nf}			
Ejes equivalentes de diseño	4.680.089	Serviciabilidad final P _t	2,5
Nivel de confianza de Z _r	90%	Cambio en el nivel de servicio Δ PSI	1,7
Desviación estándar de S _o	0,49	Período de diseño (años)	15
Serviciabilidad Inicial P _o	4,2	Mr de la Subrasante (psi)	1882

Con las variables antes citadas se puede resolver la ecuación AASHTO 93:

Figura 18. Ecuación AASHTO 93 para 15 años con geomalla.

A continuación, por medio de la fórmula citada, en el siguiente cuadro se calcula el número estructural efectivo del pavimento existente:

CUADRO 41. Determinación del número (S _{neff})	
S _{Neff} = 0.0045 x D x ³ √Ep	Ep(psi) = 66.545
D (in) = 30,31	S _{Neff} = 5,53

Determinación del espesor de la sobre capa sobre el pavimento existente (D_{ol}), por medio de la siguiente fórmula:

$$D_{ol} = \frac{S N_{ol}}{a_{ol}} = \frac{S N_f - N_{eff}}{a_{ol}}$$

Espesor de la sobrecapa D_{ol} para las condiciones de diseño de 15 años:

D _{ol} (in) = 3,32
D _{ol} (cm) = 8,50

Costos de repavimentación con y sin geomalla

Lo que a continuación se verificará es si utilizando esta geomalla para refuerzo, el costo de un proyecto determinado se verá beneficiado o no con la misma.

Se realizó un análisis del tramo total que mide 6245 metros lineales, el ancho es de 8,5 metros, por lo tanto para los períodos de 12 y 15 años de diseño se tiene:

CUADRO 42. Costo del proyecto a 12 años sin geomalla	
Longitud del tramo (m)	6245,00
Ancho de la sección (m)	8,50
Espesor de la sobre capa (cm)	10,40
Máxima teórica (ton/m ²)	2,40
Cantidad de mezcla por colocar (ton)	13249,39
*Precio/Ton colocada	\$114,77
Monto Total	\$1.520.607,04

*Precio en la Zona 3-2 de CONAVI para la colocación de cada tonelada de pavimento bituminoso en caliente.

CUADRO 43. Costo del proyecto a 15 años sin geomalla	
Longitud del tramo (m)	6245,00
Ancho de la sección (m)	8,50
Espesor de la sobre capa (cm)	12,10
Máxima teórica (ton/m ²)	2,40
Cantidad de mezcla por colocar (ton)	15415,16
*Precio/Ton colocada	\$114,77
Monto Total	\$1.769.167,81

*Precio en la Zona 3-2 de CONAVI para la colocación de cada tonelada de pavimento bituminoso en caliente

Resultados obtenidos al incluir la geomalla para ambos períodos:

CUADRO 44. Costo del proyecto a 12 años con geomalla	
Longitud del tramo (m)	6245,00
Ancho de la sección (m)	8,50
Espesor de la sobre capa (cm)	6,80
Máxima teórica (ton/m ²)	2,40
Cantidad de mezcla por colocar (ton)	8663,06
*Precio/Ton colocada	\$114,77
Subtotal 1	\$994.243,06
Cantidad geomalla por colocar (m ²)	53082,50
*Precio/m ² de geomalla	\$6,39
Subtotal 2	\$339.171,99
Monto Total	\$1.333.415,06

*Precio en la Zona 3-2 de CONAVI para la colocación de cada tonelada de pavimento bituminoso en caliente y de cada m² de geomalla.

CUADRO 45. Costo del proyecto a 15 años con geomalla	
Longitud del tramo (m)	6245,00
Ancho de la sección (m)	8,50
Espesor de la sobre capa (cm)	8,50
Máxima teórica (ton/m ²)	2,40
Cantidad de mezcla por colocar (ton)	10828,83
*Precio/Ton colocada	\$114,77
Subtotal 1	\$1.242.803,83
Cantidad geomalla por colocar (m ²)	53082,50
*Precio/m ² de geomalla	\$6,39
Subtotal 2	\$339.171,99
Monto Total	\$1.581.975,82

*Precio en la Zona 3-2 de CONAVI para la colocación de cada tonelada de pavimento bituminoso en caliente y de cada m² de geomalla.

Otro de los objetivos de este trabajo fue verificar que el costo de una reconstrucción total de una estructura de pavimento existente, es mucho mayor a la repavimentación de la misma utilizando la técnica de geomallas de refuerzo.

En este mismo caso, en el que se han diseñado diferentes espesores, las características existentes de los materiales son las que se enlistan en el siguiente cuadro:

CUADRO 46. Información del pavimento existente	
Espesor de la carpeta asfáltica	10 cm
Espesor de la base granular	26 cm
Espesor de la subbase granular	41 cm

Si se colocan estos mismos espesores, la cantidad de cada material sería:

CUADRO 47. Cantidades de material para la reconstrucción total de la estructura de pavimento.	
Longitud del tramo (m)	6245,00
Ancho de la sección (m)	8,50
Espesor de la subbase (m)	0,41
Cantidad de subbase por colocar (m ³)	21761,49
Espesor de la base (m)	0,26
Cantidad de base por colocar (m ³)	13806,55
Espesor de la carpeta asfáltica (m)	0,10
Máxima teórica (ton/m ²)	2,40
Cantidad de asfalto por colocar (ton)	12749,48

Y el costo de colocar todos estos materiales (sin tomar en cuenta la excavación y acarreo de los existentes) sería:

CUADRO 48. Costo de los materiales para la reconstrucción total de la estructura de pavimento	
Cantidad de subbase por colocar (m ³)	21761,49
Precio/m ³ de subbase	\$33,40
Subtotal 1	\$726.737,57
Cantidad de base por colocar (m ³)	13806,55
Precio/m ³ de base	\$36,53
Subtotal 2	\$504.325,57
Cantidad de asfalto por colocar (ton)	12749,48
Precio/ton de asfalto	\$114,77
Subtotal 3	\$1.463.233,37
Monto Total	\$2.694.296,51

*Precios en la Zona 3-2 de CONAVI para los ítems.

Proyecto Esterillos – Lomas (CONAVI)

A continuación se detalla el procedimiento utilizado para la colocación de geomalla para repavimentación y sobrecarpeta, en el proyecto de la Zona 3-2 en la Ruta Nacional No. 34 Sección de Control 60082, administrado por el Consejo Nacional de Vialidad.

1. Primeramente se realizó el ruteo y sellado de grietas correspondientes como es recomendado en estos casos, para evitar que cuando se coloque el asfalto estas provoquen reflexión inmediata en la capa de pre nivelación.



Figura 19 Ruteo de las grietas

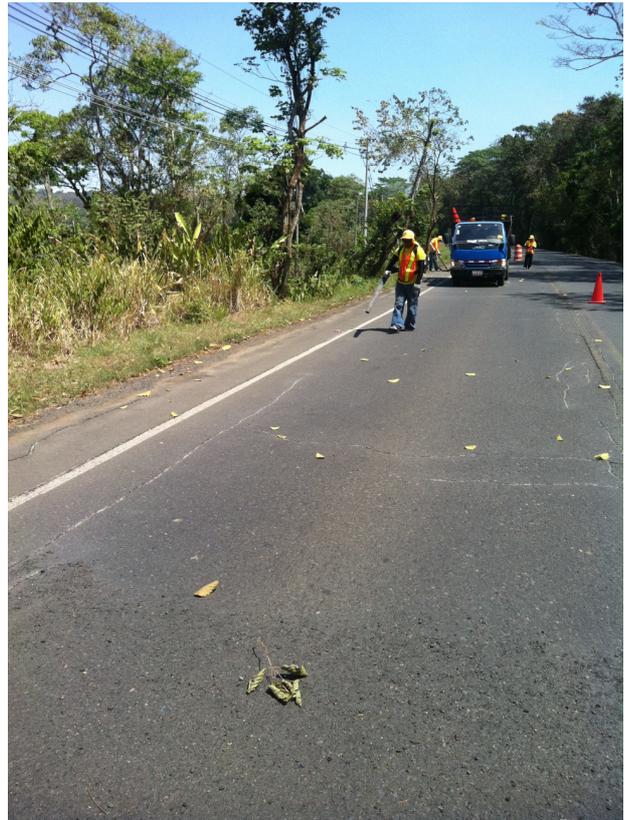


Figura 20. Limpieza de las grietas con equipo especial para soplar el polvo.



Figura 21 Sellado de las grietas.

2. Luego de tener todo el tramo ruteado y selladas las grietas, se procede con una pre nivelación de la superficie donde se colocará la sobre capa. Esta pre nivelación es recomendable realizarla con un tercio del espesor total por colocar; es decir, en este caso donde el espesor de la sobre capa era de 9 cm, entonces se realizaba la pre nivelación con 3cm de mezcla asfáltica; importante mencionar que esta capa se debe compactar alcanzando un 95% de la Densidad Máxima, para esto se realiza un paño de prueba con la ayuda de un laboratorio acreditado, el cual cuenta con un densímetro nuclear para chequear los porcentajes de compactación y, así, luego de realizado el paño de prueba, se indica al constructor un patrón de pasadas de las compactadoras tipo doble tambor vibratorio y la de llantas de hule para que continúen trabajando con ese patrón. Antes de iniciar el riego de emulsión asfáltica se debe barrer bien la superficie y sellar con mezcla asfáltica tipo bacheo las grietas que no

podieron sellarse por su tamaño.



Figura 22. Bacheo con mezcla asfáltica.



Figura 23. Pre nivelación de la superficie con mezcla asfáltica.



Figura 24. Pre nivelación de la superficie con 3cm de espesor de mezcla asfáltica.



Figura 26 Compactación de la capa asfáltica con compactadora de llantas de hule.



Figura 25. Compactación de la capa asfáltica con compactadora de doble tambor vibratorio.

3. Cuando se tiene la superficie prenivelada y lista para la colocación de la geomalla se procede con estos trabajos. Es importante mencionar que la geogrilla se debe colocar sobre una imprimación de emulsión asfáltica o cemento asfáltico, el mismo que se debe colocar en una cantidad de litros/m² recomendados por el diseñador o el fabricante de la geomallas (mínimo 0,5 litros/m²). Además se debe tener en cuenta la zona en que se realizan los trabajos, debido a que si es en zonas donde se dan temperaturas altas y condiciones climáticas muy calientes, esta cantidad de litros debe ser la mínima posible que garantice nada más la adherencia de la geomalla, debido a que podrían haber problemas de exudación en un futuro no muy lejano sobre la superficie de rueda nueva. Se debe antes barrer bien la superficie, colocar la emulsión y luego la geomalla.



Figura 27. Rollos de geomalla utilizados en el proyecto.



Figura 29 Riego de la emulsión asfáltica



Figura 28. Barrido de la superficie antes del riego de emulsión.



Figura 30. Colocación manual de la geomalla en el proyecto Esterillos-Lomas.



Figura 31. Colocación manual de la geomalla en el proyecto Esterillos-Lomas.



Figura 33. Prueba de adherencia realizada a la geomalla para poder proceder con la colocación de asfalto.



Figura 32. Prueba de adherencia realizada a la geomalla para poder proceder con la colocación de asfalto.

4. Cuando está lista la colocación de la geomalla, se procede con la colocación del espesor de carpeta asfáltica restante. En este trabajo se debe cuidar que el transitar de las vagonetas y los equipos sobre la geogrilla no la vaya a dañar, para esto se puede colocar una traba de asfalto en la huella de los equipos. También esta segunda capa se debe compactar alcanzando un 95% de Densidad Máxima, para esto se realiza un paño de prueba con la ayuda de un laboratorio acreditado, el cual cuenta con un densímetro nuclear para chequear los porcentajes de compactación y, así, luego de realizado el paño de prueba, se indica al constructor un patrón de pasadas de las compactadoras, tipo doble tambor vibratorio y la de llantas de hule.



Figura 34. Colocación de la segunda capa de asfalto, ya sobre la geomalla.



Figura 35. Colocación de la segunda capa de asfalto, ya sobre la geomalla.



Figura 36. Compactación de la segunda capa con el equipo de doble tambor vibratorio.



Figura 37. Compactación de la segunda capa con el equipo de llantas de hule.

5. Por último, es importante tener en cuenta que para lograr una adecuada adherencia de la geomalla en ambos carriles, es necesario dejar los traslapes recomendados tanto longitudinal como transversalmente, esto para que toda el área cubierta por la geogrilla trabaje como un solo plano de falla y, así, no existan áreas propensas a agrietarse por el mal cubrimiento de la geomalla.



Figura 38. Traslape de la geomalla en la junta longitudinal.



Figura 39. Traslape de la geomalla en la junta longitudinal.

Análisis de los resultados

La utilización de geomallas de pavimentación para la reducción de grietas de reflexión debe emplearse en los trabajos de mantenimiento y nuevas construcciones de carreteras. La geomalla permite la ayudara a la carpeta asfáltica a absorber los esfuerzos por tensión en la cara inferior retardando una fatiga prematura.

En los casos donde se producen agrietamientos debido a esfuerzos por tensión y a cambios de temperatura en las carpetas asfálticas, provocando la reflexión de grietas se pueden utilizar las geomallas para mitigar el daño

La geomalla de pavimentación, correctamente instalada entre la superficie de la carretera existente y la nueva capa de re-asfaltado, proporciona una función en la reducción de esfuerzos, ya que la geogrilla saturada de betún permite pequeños desplazamientos diferenciales entre las dos capas.

La geomalla absorbe los movimientos diferenciales entre capas asfálticas, lo que evita la formación de grietas por reflexión. Además, forma una capa intermedia impermeable que evita que el agua superficial penetre en la capa antigua y el agua por condensación del vapor proveniente.

Sin la geomalla de pavimentación se producirá una rápida reflexión de las grietas desde la antigua a la nueva capa asfáltica y, además, el agua superficial penetrará sobre la capa antigua de asfalto.

Las geomallas son flexibles y tienen resistencia en ambas direcciones. Estas se utilizan para controlar agrietamientos por reflexión y fatigas en sobrecarpetas de concreto asfáltico que se emplean en vías urbanas, carreteras, autopistas, aeropuertos, plataformas y parqueaderos, entre otros.

Las geomallas son ideales para el refuerzo de carpetas asfálticas debido a su alta resistencia a la tensión biaxial y baja elongación; poseen un recubrimiento bituminoso asfáltico que garantiza la correcta adhesión de la geomalla al asfalto.

Esta adherencia asegura que la geomalla está en posición de asumir el esfuerzo a la tensión y distribuirlo.

La instalación correcta de la geomalla mejora las capas de repavimentación, colocada inadecuadamente puede reducir las capacidades de impermeabilidad del sistema de membrana, reduciendo así los beneficios a largo plazo del sistema.

Los resultados pueden ser un incremento en el desprendimiento del asfalto (se suelta el asfalto de la geomalla) y grietas por daños ocasionados por calor en las arrugas, traslajos y en las huellas por ruedas. Otro problema de instalación visto con frecuencia es la contracción de la geomalla y otros daños ocasionados por la exposición de esta a temperaturas más altas que el punto de contracción o de fusión del polímero.

Las geomallas para pavimentación pueden ser colocadas ya sea manualmente o mediante equipos. La colocación manual significa rodar la geomalla a mano y utilizar más o menos seis obreros que mediante el manejo de escobas ponen la geomalla en su lugar. La colocación manual es un proceso que consume mucho tiempo y requiere de una gran cuadrilla. Usualmente resulta que la geomalla se salga de curso mientras es desenrollada, causando grandes arrugas. Otro inconveniente es que los obreros están expuestos al ligante, lo cual podría ser peligroso.

Para remediar algunos de los problemas de colocación se pueden utilizar equipos para instalar la geomalla. Estos equipos pueden ser montados como accesorios en tractores, en la parte trasera de camiones irrigadores y en otros equipos como los retroexcavadoras 416 cat. El equipo alinea, tensiona, alarga y coloca la geomalla mientras la mantiene en su sitio.

La instalación de la geomalla en curvas "sin dejar muchas arrugas" es la tarea más complicada de la colocación de la geomalla. Pero siguiendo los procedimientos adecuados puede

cumplirse con facilidad. Nunca se debe desenrollar la geomalla a mano en una curva o conducirla en una curva con maquinaria. Las arrugas serán tantas que rasgarlas será casi imposible sin dañar la geomalla.

Un método exitoso para la colocación de la geomalla en una curva es cortar pequeñas secciones de geomalla en forma de trozo de pastel y colocar cada sección a mano a lo largo de la curva. Esto permite ajustar la geomalla a la curva con un número de traslajos.

La colocación mecánica también es posible mediante "brincos a lo largo de la curva". No se debe manejar la máquina dando la curva. En vez de esto, se debe manejar dando pasadas rectas y luego hacer un ajuste grande y rápido con el tractor, casi como brincando. Esto pondrá una o dos grandes arrugas a la geomalla por cada ajuste. Se continúa con este proceso a todo lo largo de la curva.

Este método solamente es efectivo si la máquina está montada a un tractor, no trabajará si está sujeta a la parte trasera de un camión irrigador.

Por otro lado, como se observa en el cuadro No. 33, la forma de incorporar el efecto de la inclusión de la geomalla, en los diseños de carreteras para la reducción de espesores o aumento de vida útil, es por medio de la cantidad de ejes equivalentes para la cual se trabaja; esto supeditado a la garantía del fabricante.

Al reducir la cantidad de ejes equivalentes se logrará una reducción en el remanente estructural requerido, que al aplicarle las variables en la fórmula AASHTO 93, y al ser este número, variable de la ecuación para la obtención del espesor de la sobrecapa, afecta directamente dando como resultado un menor espesor.

En el caso del diseño para una vida útil de 12 años, el espesor bajo de 10,4 cm a 6,8 cm y para el diseño de vida útil de 15 años, el espesor bajo de 12,1 cm a 8,5 cm.

De esta manera se observa en los resultados una reducción importante de espesor, para el caso en que se diseña para una vida útil de 12 años con un 35% menos y para el otro caso de vida útil de 15 años se reduce en un 30%.

Además se puede interpretar como un aumento en la vida útil del proyecto, así, en lugar de aplicar la geomalla para reducir el espesor, se emplea y se deja con el mismo espesor

calculado, con la cantidad de ejes equivalentes completos, por lo tanto el efecto de esta se verá reflejado en mayor duración de la estructura de pavimento reparada.

En cuanto a los costos de los trabajos con y sin geogrilla existe una reducción significativa en ambos períodos de vida útil analizados.

Para 12 años sin geogrilla se tiene un costo del trabajo de \$1.520.607,04 y con la inclusión de la geogrilla se tiene un costo total de \$1.333.415,06; lo cual representa una disminución del costo del tramo analizado de un 12,31%, diferencia causada por aproximadamente 4cm de diferencia en el espesor.

Para 15 años sin geogrilla se tiene un costo del trabajo de \$1.769.167,81 y con la inclusión de la geogrilla se tiene un costo total de \$1.581.975,82; lo cual representa una disminución del costo del tramo analizado de un 10,58%.

Para un período de vida útil de 12 años, el costo de cada kilómetro sin la utilización de la geomalla de refuerzo es de \$243.491,92 y utilizando la geomalla de refuerzo el costo por kilómetro es de \$213.517,22.

Para un período de vida útil de 15 años, el costo de cada kilómetro sin la utilización de la geomalla de refuerzo es de \$283.293,48 y utilizando la geomalla de refuerzo el costo por kilómetro es de \$253.318,79.

Es decir, si se comparan los datos sin utilizar y utilizando la geomalla se puede observar que el ahorro al utilizarlas es de aproximadamente \$187.191,98 en todo el tramo, es decir, que por cada kilómetro el ahorro ronda los \$29.974,70.

Si se compara el costo de una reconstrucción total de la estructura de pavimento existente, contra un mantenimiento de sobre capa con utilización de geogrilla para repavimentación, el resultado es evidente, siendo el costo de reconstrucción casi \$1.112.320,68 más caro que el diseño de vida útil a 15 años, utilizando la técnica de geomalla de refuerzo.

Conclusiones

El efecto de la inclusión de la geomalla de refuerzo, reduce el espesor de la sobrecapa si se utiliza con la intención de reducir los costos y mantener el mismo tiempo de duración para el que se diseñó; o aumenta la vida útil del proyecto si la inclusión de la geomalla se hace para obtener un beneficio en la cantidad de tiempo y no en el costo

Con las geomallas se logra aumentar la resistencia de la tracción de la capa asfáltica garantizando bajo una carga vertical la distribución uniforme de esfuerzos horizontales en una mayor superficie, ya que están elaboradas para interactuar con la capa subyacente y de esta manera crear una resistencia geomalla-capa competente para recibir cargas y distribuirlos uniformemente en dicha capa.

Las geomallas aumentan la resistencia a la fatiga de pavimentos sometidos a la acción de cargas cíclicas, debido a que, al colocar una sobre capa, se vuelven más gruesas las capas de la estructura provocando mayor esfuerzo de tensión en su base y más rápido empezará a agrietarse por fatiga, el uso de una entre capa con geomalla une la nueva carpeta asfáltica y las capas de pavimento existente permitiendo que ellas trabajen un poco independientemente, reduciendo el riesgo de esfuerzo y agrietamientos altos; ya que por la resistencia a la tensión de la geomalla ayuda a la sobrecapa colocada a resistir los esfuerzos a tensión en la base. Si ocurre flexión, el pavimento con la entrecapa de geomalla se dobla muchas veces más, antes del agrietamiento.

El uso de geomallas ayuda a reducir el costo del proyecto, dado que esta se puede instalar de una forma rápida y fácil. Sin embargo, es necesario conocer bien el método de colocación de la geomalla, ya sea esta colocada con mano de obra o con equipo especial, ya que las arrugas

provocadas al colocarla incorrectamente puede, lejos de dar beneficios, generar un problema a la hora de la colocación del asfalto, ya que generaría una superficie imposible de compactar y se podría dar el desprendimiento del mismo, quedando expuesta la geogrilla.

Las geomallas proporcionan beneficios de costo ya que al emplearlas se logra reducir los espesores de mezcla por colocar y, además, reducen el mantenimiento periódico de los pavimentos flexibles, ya que un trabajo de repavimentación sin el uso de geogrilla se verá afectado a muy temprana edad en la superficie de ruedo, por la reflexión de las grietas.

Recomendaciones

Con base en el estudio efectuado se recomienda:

-Realizar la colocación mecánica de la geogrilla, dado que esta es más rápida y reduce el costo de mano de obra puesto que solo requiere, aproximadamente, de una cuadrilla completa para su colocación, además consume tiempo y equipo de protección personal calificado para disminuir el peligro a la exposición con el ligante asfáltico.

- Medir el tiempo en colocación de la geomalla con equipo especial vrs mano de obra, para valorar la reducción en costos. Puesto que la utilización de maquinaria especial para la colocación de la geomalla facilita dicho proceso. No obstante, en el desarrollo de este proyecto no se llevó a cabo la colocación de la geomalla con equipo especial, esta se realizó con mano de obra.

-Hacer el riego de emulsión por rollo para la colocación de la geomalla, es decir, realizar solo el riego del área que cubre un rollo para colocar luego la geomalla, ya que si esta es posterior a que la emulsión rompa, no se obtendrá la adherencia requerida entre la geogrilla y la superficie de pavimento existente.

-Realizar, en la colocación de los rollos de geogrilla en las vueltas, pequeños cortes en la parte interior de la vuelta y sobre poner un corte sobre otro en la dirección en que avanzarían los equipos, para que estos no arrollen los cortes.

-Utilizar un método para tejer un rollo de geomalla con otro, propiamente, en los traslapes de estos, utilizando por ejemplo cuerdas de nylon.

-Esparcir, en las huellas de los equipos sobre la geomalla, una pequeña traba de mezcla asfáltica para que los mismos no provoquen arrugas ni el

levantamiento de la geomalla, la cual debe quedar completamente adherida a la carpeta existente.

-Tener en cuenta la zona donde se realizan los trabajos, ya que de ser una zona donde predominan las altas temperaturas, podrían darse casos de exudación en la superficie de rueda, por lo que se debe tener presente que la cantidad de litros por metro cuadrado de emulsión que se coloca sea óptima para la adherencia de la geogrilla y no excesiva para evitar estos problemas. Esto se logra colocando la cantidad mínima de litros de emulsión requerida para que se adhiera a la superficie.

-Tecnificar o incluir parámetros de resistencia de la geomalla medidos en campo de acuerdo a los proyectos ya realizados en el país, para con estos tener criterios comprobados y poder aplicarlos en futuros diseños para no basarse solamente en la garantía que nos da el fabricante y que es con lo que al momento del proyecto se toma como premisa.

-También es recomendable visitar el proyecto ya realizado periódicamente para verificar su estado y si realmente el uso de la geomalla satisface los objetivos para la cual se ha utilizado en el mismo.

-Con visitas y mediciones periódicas al proyecto se puede medir el efecto (si se da) de la geomalla en situaciones extremas de deterioro, por ejemplo, hundimientos por fallas sísmicas y por malas evacuaciones de agua, deslizamientos y derrumbes, entre otras situaciones imprevistas.

Apéndices

- 1) Evaluación del tráfico para diseño (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 2) Proyección de tráfico para diseño anual (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 3) Cálculo de ejes equivalentes (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 4) Retro cálculo Mr de la Subrasante (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 5) Cálculo de espesor de sobre carpeta mantenimiento a 4 años (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 6) Cálculo de espesor de sobre carpeta mantenimiento a 8 años (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 7) Cálculo de espesor de sobre carpeta mantenimiento a 12 años (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 8) Cálculo de espesor de sobre carpeta mantenimiento a 15 años (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 9) Cálculo de espesor de sobre carpeta mantenimiento a 12 años con geomalla (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 10) Cálculo de espesor de sobre carpeta mantenimiento a 15 años con geomalla (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 11) Montos de los trabajos con y sin geomalla a 12 y 15 años de vida útil (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 12) Análisis de montos de una reconstrucción total vrs mantenimiento de trabajos con geomalla (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 13) Retro cálculo módulos elásticos en sitio de las capas del pavimento (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).

Anexos

- 1) Deflectometría de Impacto FWD de LANAMME (Ruta Nacional No 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 2) Tránsito Promedio Diario de la las estimaciones de tránsito de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Ruta Nacional No. 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 3) Tasa de crecimiento del Tránsito Promedio Diario de las estimaciones de tránsito de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (Ruta Nacional No. 34 Sección de Control 60081 La Palma – La Julieta).
- 4) Directriz del Despacho del Sr. Viceministro de Obras Públicas, oficio DVOP-5170-07, del 10 de setiembre del 2007.
- 5) Informe de caracterización de materiales No. ITP-PM-314-12 de Ingeniería Técnica de Pavimentos.
- 6) Mac Grid AR MACCAFERRI.
- 7) Geosistemas PAVCO de Mexichem.

Referencias

Khodaii, A. y Fallah, S. 2008. **The effects of geogrid on reduction of reflection cracking in asphalt overlay.** Cuarta Conferencia de Ingeniería Civil, Universidad de Teherán.

Ling, H. y Liu, H. (2003). **Finite element studies of asphalt concrete pavement reinforced with geogrid.** Journal of Engineering Mechanics ASCE (pp. 801-811).

Montestruque, G. et al. (2004). Stop of reflective crack propagation with the use of PET geogrid as asphalt overlay reinforcement.

NCHRP (2004). Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures.

Thom, N. H. (2003). **Grid reinforced overlays: predicting the unpredictable.** Tercera conferencia internacional sobre mantenimiento y rehabilitación de pavimentos y control tecnológico. Guimaraes, Portugal.

CR-77: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes.

American Association of State Highway and Transportation Officials 1993 Washington D.C. Guía para el diseño de Estructuras de Pavimento.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (2008). Informe de asesoría: Análisis estructural del pavimento Esterillos-Loma.

Mac Grid Maccaferri.

Tensar Internacional, [Web en línea]. <>. <http://www.tensar-internacional.com>. [Consulta: 10-11-2012]

Fibertex, [Web en línea]. <>. <http://www.fibertex.com/en-GB/business-areas/Geotextiles/Brochures/Pages/default.aspx> . [Consulta: 20-11-2012]