

Plan de estudio para la evaluación del comportamiento de un pavimento flexible reforzado con geosintéticos

Study plan to evaluate the behavior of reinforced with geosynthetics flexible pavement

Blanco, Carlos*; Grupp, Federico y Voirol, Eric

Geosintéticos Trical C.A.Zona Industrial El Piñonal II. Calle El Cambio N° 19 Maracay. Venezuela

*cblanco@trical.net

Recibido: 08-02-2007

Revisado: 14-01-2008

Resumen

Para evaluar el comportamiento de un pavimento flexible reforzado con dos distintos tipos de geosintéticos sobre un suelo poco competente, se diseñó y realizó un detallado plan de estudios en un área controlada. Este plan consistió en una primera fase de caracterización geotécnica de la zona de estudio y del material de agregado y asfáltico utilizado, una segunda fase de modelación de ambos casos de la estructura de pavimento, utilizando el programa de elementos finitos PLAXIS, y una tercera fase consistente en un plan de mediciones in situ de tres secciones, dos reforzadas y una testigo, que incluyen instrumentación geotécnica y topográfica para la medición de deformaciones volumétricas y de cizallamiento de la estructura y esfuerzos sobre el suelo. Este trabajo presenta la planificación de este plan de estudios

Palabras clave: Pavimento flexible, geosintéticos, caracterización geotécnica, refuerzo.

Abstract

To evaluate the behavior of a flexible pavement reinforced with two different types of geosynthetics on a slightly competent soil, it design and realized a detailed study plan in a controlled area. This plan consisted of the first phase of characterization geotechnical of the zone of study and of the attached's material and asphalt used, the second phase of modeling of both cases of the structure of pavement, using the program of finite elements PLAXIS, and a third phase consisting of a plan of measurements in site (place) of three sections, two reinforced ones and a Witness, which they include instrumentation geotechnical and topographic for the measurement of deformations volumetric and of shear of the structure and efforts on the soil. This work presents the planning of this study plan.

Key words: Flexible pavement, geosynthetics, geotechnical characterization, reinforcement

1 Introducción

El termino reforzamiento en este caso, implica la movilización de tensiones en el plano de la geomalla. Es la capacidad de distribuir una carga concentrada sobre un área mas grande de la sub base, evitando de esta manera la sobre carga local de la capacidad de soporte. Este refuerzo se ha clasificado como restricción de la base y sub base, restricción de las deformaciones laterales y efecto membrana (Cristofer y Holtz, 1985, Giroud, 1987, Halibourton y Barron, 1983, Hausmann, 1987). Por otro lado, también se ha sugerido que la fricción o interacción entre las superficies de los agregado – geosintético y suelo–geosintético minimiza la deformación lateral de los suelos y agregados.

En 1987, Carrol et al., llevaron a cabo un detallado programa de estudios en la Universidad de Waterloo, Ontario, sobre el reforzamiento de pavimentos flexibles en las bases granulares utilizando geomallas. Uno de sus objetivos fue analizar y explicar el mecanismo de reforzamiento de pavimentos flexibles a través de la medición de esfuerzos, deformaciones y deflexiones. Encontraron que el reforzamiento redujo las deformaciones permanentes en los pavimentos flexibles y permitió una reducción mayor del 50 % del espesor de la base granular. Webster et al. (1991), realizaron estudios sobre el reforzamiento de pavimentos flexibles con geomallas en pequeños aeropuertos. Los resultados obtenidos indicaron que el reforzamiento con geomallas mejora el comportamiento del

sistema de pavimento como un todo, colocándolo entre las capas de agregado y sub base. Otros ensayos a escala natural han verificado que para niveles de CBR en el rango de 1,5 a 5 %, los pavimentos reforzados con geomallas pueden soportar 3,5 veces mas repeticiones de carga que uno no reforzado antes de alcanzarse grietas de 27 mm de profundidad (Webster, 1991).

2 Contención de la base y la sub base

Haliburton et al. (1983), sugirieron que bajo carga, las condiciones de esfuerzo en la base de pavimento son análogas a las de una viga cargada. Debido a la flexión, la base queda sujeta a compresión en la parte superior y a tensión en la inferior. El material granular de la base tiene poca resistencia a la tensión y generalmente depende de la sub base para generar cierta restricción lateral, siempre y cuando esta no sea de material muy débil. De esta manera las partículas de agregado en el fondo de la base tienden a moverse aparte, permitiendo la intrusión del material mas fino de la sub base. La colocación de un geosintético en el fondo de la base puede proveer refuerzos de tensión que restrinjan el movimiento del agregado. Sin embargo, en algunos casos puede ser necesario el desarrollo de esfuerzos extremadamente altos en materiales de buen modulo de material fabricado del y la generación de una alta fricción con el agregado.

3 Efecto membrana

El refuerzo por Efecto Membrana se genera al deformarse la sub base. Este tipo de refuerzo es importante especialmente cuando se coloca una base granular sobre un sub base de suelo blando con una capacidad de carga limitada. Al deformarse la sub base bajo la acción de las cargas, el geosintético se estira como una membrana. La carga es distribuida sobre una mayor área como resultado de la componente vertical de la tensión desarrollada en el geosintético deformándose hasta llegar al equilibrio, pudiendo la sub base soportar la carga distribuida sin deformaciones plásticas adicionales.

El Efecto Membrana viene a ser la interacción estructural entre la carga, el geotextil y la sub base. Con este concepto, se puede construir una carretera sobre suelos de baja capacidad de carga con condiciones climatológicas adversas sin pérdida excesiva de material de base. Su función también puede hacer posible la reducción del espesor de base requerida inicialmente para la construcción de la vía. Para que este tipo de refuerzo sea significativo el CBR de la sub base debe ser menor del 3% (Barkdsdale et al., 1989, Bell, 1980).

Varios investigadores han indicado que el Efecto Membrana es mayor con geotextiles de modulo alto ya que proveen mayor capacidad de carga al mismo nivel de deformación, desarrollando fuerzas de tensión mayores con pequeñas elongaciones que en aquellos materiales de bajo módulo.

4 Restricción lateral

El Reforzamiento Lateral o Restricción Lateral, reduce la deformación lateral de la base y la sub base en contacto con el geosintético. Este mantiene el material de la base y la sub base juntos por medio de la fricción generada entre ellos. Esta acción esta referida como una acción de restricción lateral de los materiales mencionados, la cual reduce las deformaciones que puedan ocurrir bajo carga.

5 Separación

Es considerada por muchos (Al-Qadi et al, 1994), la función primaria de los geotextiles en la construcción de carreteras, ya que previene la contaminación de la base granular por el suelo fino de la sub base. En una vía ocurre un complejo juego de fuerzas, el agregado grueso obligado a penetrar en la sub base por acción de las cargas aplicadas, o la migración de la sub base dentro de la capa granular. La capacidad de absorción y relajación de la carga del agregado depende del contacto entre sus partículas. Bajo la carga de un neumático esta capa se deforma y bajo un suficiente número de repeticiones, las partículas en la superficie de la base en contacto con la sub base comienza a separarse, ya que las partículas de agregado no puede resistir las tensiones. Inicialmente estas separaciones son pequeñas, sin embargo se acumulan a medida que las cargas continúan. Como resultado, el espacio entre partículas se incrementa y el material blando de sub base puede introducirse dentro del material grueso de la base. La colocación de un geotextil puede prevenir que esto ocurra. El efecto, sin embargo, de la función de separación es asegurar que los materiales de la base y la sub base puedan colocarse y hacer su trabajo por separado.

Al-Qadi et al. (1994), han establecido que en la ausencia de separación, hay la tendencia a la ocurrencia con el tiempo simultáneamente de dos mecanismos: el intento de migración de los finos dentro de los vacíos entre el material granular de la base, afectando la capacidad de drenaje del pavimento y su capacidad estructural, y que el material grueso penetre en el suelo, comprometiendo la resistencia del sistema de pavimento.

Jorenby y Hicks (1986) evaluaron el mecanismo de separación en vías con suelos de altos esfuerzos (CBR > 3 %) encontrando que el desempeño de un geotextil como capa de separación y su contribución al comportamiento estructural de la vía dependía altamente del material de la sub base, la magnitud y número de sobre cargas durante su vida de servicio y las condiciones ambientales.

6 Estudios de laboratorio y campo

Se han realizado una considerable cantidad de investigaciones acerca del comportamiento de pavimentos flexibles reforzados con geosintéticos, la mayoría de ellos se han realizado evaluando el comportamiento del reforza-

miento con geomallas. A continuación se mencionan los más relevantes:

En 1991 White presentó los datos obtenidos por Webster de ensayos de tráfico a escala natural de pavimentos reforzados con geomallas y geotextiles sobre suelos arenosos, utilizando camiones, tanques y la simulación de un avión C-130. Estos ensayos incluyeron una capa de base granular de 100 mm con y sin refuerzo, colocada en el tope de la sub base. Los resultados mostraron que bajo el tráfico de camiones la geomalla tuvo un mejor comportamiento que el control consiguiendo este una grieta de 50 mm después de 2600 pasadas mientras que con la geomalla se consiguió con 5200 pases. Las secciones reforzadas con geotextiles no tuvieron un buen desempeño mostrando además señales de filtraciones. Bajo la carga del C-130, el mal desempeño de las secciones reforzadas fue general. Como resultado general se concluyó que las propiedades friccionantes del material de refuerzo son críticas para el desempeño de la estructura vial.

En 1989 Barksdale et al., realizaron estudios del desempeño de geomallas y geotextiles en pavimentos flexibles. Los estudios analíticos se llevaron a cabo usando elementos finitos con el fin de identificar los parámetros a variar en los ensayos experimentales. Los parámetros estudiados fueron la influencia de diferentes tipos de geosintéticos, la ubicación de reforzamiento del geosintético y los efectos de pretensado y preagrietado.

Un hallazgo importante del estudio analítico fue que el desempeño de las secciones reforzadas no fue mejor cuando el CBR de la sub base era mayor al 3 %. El ensayo de campo se realizó en una sección 4,9 m por 2,4 m de planta, usando una carga de ruedas de 7 KN moviéndose a una velocidad de 4,8 Km/h. Se instalaron celdas de presión en cada sección, y se utilizaron galgas para medir las deformaciones en cada capa de las secciones de pavimento y geomallas.

También se reportó que para el refuerzo de sistemas de pavimentos la rigidez mínima necesaria para geotextiles tejidos era de 700 KN / m a 5 % de elongación y de 260 KN / m para geomallas, lo que concluyó que un geotextil tejido debe tener una rigidez de 2,5 veces mayor que la de una geomalla para proveer la misma capacidad de refuerzo.

En cuanto a las deformaciones, las secciones reforzadas con geotextiles no pretensados tuvieron una deformación permanente del 30 % mayor que las que usaron geomallas reforzadas para 10.000 pasadas de carga y de solo el 5 % para 70.000. Sin embargo estos resultados no son definitivos. Por otro lado, la sección testigo, tuvo más de dos veces la deformación permanente de las reforzadas después de 10.000 pasadas.

Se reportó que al colocarse un geotextil de alta rigidez en el fondo de la base de agregado se obtenía una reducción del 57 % de las deformaciones permanentes en la sub base. También al colocarse una geomalla en el fondo de la base, se conseguía un 52 %.

Con respecto a la ubicación del reforzamiento, Barksdale et al. (1989), concluyeron que para secciones de pavimento ligero construidas con bases de agregado de baja calidad, la posición preferida para el reforzamiento es en el medio de la base particularmente si se tiene una buena sub base. Para pavimentos construidos sobre sub bases blandas el reforzamiento podría ser colocado en o cerca del fondo de la base. Esto es particularmente cierto si se conoce que la sub base tiene problemas de agrietamiento y la base es de alta calidad y esta bien compactada. También el estudio sugiere que la colocación de una capa asfáltica entre 64 mm y 90 mm hace más efectivo el refuerzo. En suelos muy blandos esta capa podría ser mayor. Se estableció que en secciones ligeras con sub bases blandas reforzadas con geosintéticos con rigidez efectiva de 700 a 1050 KN/m se pueden obtener reducciones del espesor de la base en 10 a 20 %. Esto con base a igual nivel de deformaciones en la sub base y fondo de la capa protectora. En sub bases blandas con CBR < 3 %, el agrietamiento total en la base y la sub base puede reducirse en un 20 a 40 %. Algunos de los factores que pudieron tener influencia en los resultados de Barksdale son la magnitud y duración de la carga utilizada en el estudio que fue pequeña comparada con los actuales pesos de los camiones (7KN Vs 80 KN), y la velocidad de pasada (4,8 Km/h). Sin embargo, se conoce que esto último es lo que más daña a los pavimentos flexibles.

En 1992, Al-Qadi et al. (1994), llevaron a cabo un experimento de campo e investigación analítica para evaluar el desempeño de pavimentos reforzados o no con geotextiles y geomallas colocados entre la sub base y la base. Las secciones modelaron carreteras secundarias sobre suelos blandos y granulares. El pavimento fue cargado dinámicamente utilizando un plato rígido a razón de una carga de 550 KPa en un área de plato de 300 mm a una frecuencia de 0,5 Hz, simulando un eje doble de 80 KN con una presión en los cauchos de 550 KPa. Se instaló una celda de carga directamente en la parte superior del plato de carga para hacer el seguimiento de la carga aplicada. Se hizo seguimiento de las deformaciones utilizando traductores de desplazamiento (LVDT).

La sub base utilizada fue una arena limosa suelta CBR = 2 a 5,5 %, la base fue un agregado de piedra picada bien gradada clasificación 21-A. Se evaluó el efecto de los ciclos de carga en las deformaciones (800 ciclos y la tasa de deformación). Se utilizó el procedimiento de diseño de pavimentos de la AASHTO para la conversión de cargas a cargas de eje equivalentes como parte de la predicción de vida.

Los resultados experimentales que las secciones reforzadas con geotextiles soportaron de 1,7 a 3 veces más del número soportado por la sección de control para una deformación permanente de 25 mm. Se hizo un hallazgo importante al excavar para verificar la interfase base – material granular – sub base, en la sección reforzada con geomallas, el material granular de agregado había pene-

trado dentro de la sub base areno limosa y que esta a su vez migró hacia el material granular. Por otro lado, en las secciones reforzadas con geotextiles se previno este comportamiento. El estudio concluyó con que los geotextiles y geomallas ofrecen un mejoramiento sustancial del comportamiento del pavimento construido sobre sub base de bajo CBR. También se concluyó que los geotextiles ofrecen un mejoramiento sustancial a la vida útil del pavimento debido a la separación entre las capas de base y sub base.

Otros trabajos mas recientes de instrumentación en campo como los de Kwasi A. Alexander (2002), y análisis matemáticos con elementos finitos como los realizados por Reyes Ortiz et al (2004) de la Universidad Javeriana de Colombia, llegan a la conclusión que el factor clave en el desempeño de los geosintéticos como refuerzo esta basada en su fuerza tensora. Sin embargo, estos estudios también muestran que la acción del mecanismo de separación en el mejoramiento de la capacidad estructural del pavimento es más importante que lo que se ha mostrado hasta ahora (Kawasi A. 2002).

7 Objetivo del plan de estudio

El objetivo general del plan de estudios persigue contribuir con el entendimiento de los mecanismos de refuerzo lateral o de restricción, efecto membrana y función de separación en el mejoramiento estructural de pavimentos flexibles, así como los de contaminación de los suelos finos de la sub rasante en la capa de sub base granular, a través del modelaje matemático y físico en escala real de secciones de pavimento reforzadas con geosintéticos, bien instrumentadas bajo cargas de tráfico y condiciones de campo reales.

8 Planificación del plan de estudios

8.1 Metodología

El presente plan de estudio para la evaluación del comportamiento de un pavimento flexible reforzado con geosintéticos, esta basado en las experiencias de los estudios realizados por Barksdale et al. (1989), Al-Qadi et al (1994), Kawasi A. (1997) y Reyes Ortiz et al. (2004).

Como se menciona el Plan de Estudio consiste en la ejecución de la medición de deformaciones volumétricas y esfuerzos totales causados por cargas en escala natural en pavimentos flexibles reforzados. Para ello se ha estructurado el Plan en las siguientes fases:

- Fase 1: Caracterización geotécnica de la zona de estudio y del material de agregado y asfáltico utilizado.
- Fase 2: Modelaje de ambos casos de reforzamiento de la estructura de pavimento, utilizando el programa de elementos finitos PLAXIS.
- Fase 3: Plan de mediciones en sitio de tres secciones, dos reforzadas y una testigo, que incluyen instrumentación geotécnica y topográfica para la medición de deformaciones volumétricas y de cizallamiento de la estructura y esfuerzos sobre el suelo.

9 Ubicación de la infraestructura de ensayo de campo

Se implantarán tres secciones de estudio para la evaluación de dos tipos de geosintéticos, una geomalla y un geotextil en dos secciones respectivamente y una tercera piloto o testigo sin reforzamiento. Actualmente se discute con contratistas y organismos estatales la ubicación de la Infraestructura de Ensayo. Para la selección de esta se han considerado los siguientes factores:

- Una autopista o vía secundaria por reparar o construir;
- Las secciones serán de aproximadamente 50 m de longitud y serán instaladas en el canal de tráfico pesado;
- Debe estar determinado o por definir el nivel de tráfico esperado, sus tipos y cargas;
- La sub base debe tener un valor de CBR bajo;
- Debe hacerse la planificación necesaria para la instalación y medición de la instrumentación para que esta tenga un bajo impacto en las obras de construcción o reparación de la vía, o en el tráfico vehicular.

Se considerará el diseño estructural original del pavimento en la vía seleccionada y la mejorada o reforzada de acuerdo con los resultados del modelaje matemático.

Fase 1: Caracterización de los materiales del lugar

Caracterización geotécnica de los materiales de construcción

Para la caracterización de los materiales del lugar como la sub base, y material de préstamo para construcción de la base, se ha ideado un detallado plan de caracterización consistente en ensayos geotécnicos de campo y de laboratorio. La Tabla 1, muestra el plan de ensayos.

Tabla 1. Plan de Ensayos para la Caracterización de los Materiales

Tipo de ensayo	Ensayo	Clasificación	Producto
Geotécnico de campo	Ensayo estandarizado de penetración (SPT)	ASTM D 1586-99	Resistencia a la penetración por número de golpes (Nspt). Toma de muestras perturbadas. Clasificación visual de suelos. Determinación de la humedad aparente y del nivel freático.
	Calicatas	ASTM D 1452-95	Toma de muestras perturbadas. Clasificación

			visual de suelos.
			Determinación de la humedad aparente.
	Densidad de Campo	ASTM D 3017-96	Densidad en sitio
	CBR	ASTM D	Capacidad Portante
Geotécnico de Laboratorio	Clasificación de suelos para propósitos de Ingeniería	ASTM D 2487-93	Clasificación del material
	Análisis Granulométrico	ASTM D 422-90	Distribución granulométrica.
	Índices de Plasticidad	ASTM D 854-92	Propiedades Índices / Plasticidad
	Gravedad Específica	ASTM D 854-92	Propiedades Índices / Granulares
	Porcentaje de humedad	ASTM D 698-91	% de Humedad, Perfil de Humedades
	Densidad relativa	ASTM D 1557-91	Propiedades Índices

La caracterización del material asfáltico será suministrada por el contratista. Las propiedades más importantes para su caracterización son:

- Gravedad específica (Bulk Test), ASTM D 1188-89;
- Propiedades volumétricas;
- Resistencia a la cedencia (creep);
- Modulo resiliente, ASTM D 4123-87;
- Contenido de asfalto, ASTM D 2172-93.

Selección de los geosintéticos

De acuerdo a varias experiencias en el reforzamiento de pavimentos flexibles, realizadas con éxito en Venezuela y Colombia se seleccionaron dos tipos de Geosintéticos, la Geomalla BX 35, y el Geotextil 2400 T, elaborados y suministrados para esta prueba por la empresa Geosintéticos Trical C.A. Las características de estos materiales se muestran en el Anexo A y B.

Fase 2: Modelaje de la estructura de pavimento reforzada

Para el modelaje y diseño de las estructuras de pavimento se emplean diferentes herramientas, entre las cuales se pueden enumerar los programas de elementos finitos, que están basados en la creación de un modelo bidimensio-

nal, el cual divide la región de estudio en triángulos de lados rectos, donde los vértices son los nodos y cada triángulo formado por tres nodos y tres lados, se llama elemento.

La metodología del trabajo esta basada en la comparación de deformaciones y esfuerzos totales modelados en PLAXIS para una estructura de pavimento flexible, con las medidas "In Situ" por galgas de deformación (strain gages) y celdas de carga para esfuerzos totales.

El trabajo se inicia con la configuración del sistema que se va utilizar tanto para la modelaje como para la prueba "In Situ"; donde la capa superior está constituida por una mezcla asfáltica, infrayacente una Geomalla (BX 35) que la separa de la base, luego un Geotextil Tejido (T2400) y por ultimo le capa de suelo subrasante o sub base.

Las cargas de los vehículos para el desarrollo de la investigación son semiejes estándar de 65kN, que son esquematizadas como una presión de contacto de 0.662 MPa en un área circular con radio de 0.25 metros.

Las condiciones de frontera en el modelo analizado por elementos finitos serán:

En el borde inferior de la última capa, el desplazamiento vertical y el esfuerzo cortante son nulos. ($w=0$ y $\sigma_{rz} = 0$)

En el borde lateral de las capas, el esfuerzo horizontal y el esfuerzo cortante son nulos ($U=0$ y $\sigma_{rz} = 0$)

Fase 3: Plan de mediciones en sitio

Instrumentación geotécnica y estructural

Para las mediciones en sitio se seleccionaron los siguientes instrumentos:

- Deformímetros elásticos (strain gages);
- Celdas de carga;
- Termopares;
- Medidores de humedad;
- Piezómetros;
- Sensores de tráfico de polímeros piezoeléctricos.

Se seleccionaron deformímetros (strain gages) del modelo EDS-20V-SW de Encardio Rite, las cuales serán soldadas en la cara inferior en ambas direcciones de la geomalla o geotextil que se instalará en el fondo de la capa asfáltica. Estas galgas harán el seguimiento de las deformaciones horizontales.

Las celdas de carga son del modelo EPS 30/36V-X de Encardio Rite, estas estarán instaladas en la base y la sub base. Su función primaria es la hacer seguimiento del estado de esfuerzos de las capas superiores. También medirán el incremento de la presión vertical debido a la carga dinámica de tráfico. Esta se instalará 25 mm por debajo de la superficie de la capa base. Esta celda está capacitada para trabajar presiones de hasta 650 KPa.

Los termopares modelo EIT-10V de Encardio Rite, se instalarán en la capa de sub base a una profundidad de 152 mm y en el medio de capa asfáltica. Estas harán seguimiento de las variaciones de temperatura en las capas de pavimento.

Los medidores de humedad consistirán de cajas de cal implantadas por debajo de la sub base, equipadas con electrodos que indicarán la resistencia la cual será directamente proporcional a la humedad. Estas cajas serán calibradas en laboratorio contra densidad y porcentaje de humedad.

En caso de seleccionar una zona con nivel freático a poca profundidad se instalarán también piezómetros de lectura rápida para suelos en estado trifásico modelo EPP-30/36V de Encardio Rite. Se ha comprobado en los resultados de Barksdale et al. (1989) la influencia de la presión de poros en el comportamiento estructural de los pavimentos flexibles.

Se instalarán sensores de conteo de tráfico de polímeros piezoeléctricos tipo Roadtrax Serie P Traffic Sensor de la AMP Sensor Inc., no solo para el conteo del tráfico en la zona de estudio sino también para accionar el sistema de adquisición de datos cada vez que sea activado.

10 Sistema de adquisición de datos

Se usará un Data Logger modelo EDAS-10 de Encardio Rite con capacidad de 24 canales, para la adquisición, evaluación y manejo de la data obtenida de los instrumentos geotécnicos y estructurales. Este data Logger será instalado en sitio en un lugar protegido. El Data Logger podrá comunicarse con un computador tipo Lap top, Hand Held o PDA para la obtención de la data previamente procesada por el software de adquisición de datos del Data Logger. El sistema de adquisición de datos estará programado para activarse mediante la señal de los sensores de tráfico y medirá de manera continua a una tasa de muestreo de 200 Hz por un período de 10 s. La data será comprimida cada vez que se active el sistema de adquisición de datos. El sistema de adquisición de datos correrá un programa del tipo wach dog para la localización y arreglo de anomalías de funcionamiento y errores de adquisición y procesamiento. El sistema de potencia estará constituido por una batería recargable de 48 h de carga, alimentada por un panel solar. Para evitar la exposición de los investigadores a la zona de medición, el Data Logger tendrá la capacidad de enviar la información vía *Radio Spread Spectrum* con la instalación de un MODEM para ello. La transmisión de datos por esta vía no tiene regulaciones especiales, es gratis y muy conveniente para el manejo del sistema a distancia.

10 Mediciones de deflexión vertical

Con el ánimo de hacer un trabajo de medición lo mas detallado posible, se ha considerado realizar mediciones de la deflexión vertical del pavimento estabilizado y no estabilizado con el uso de un *Falling Weight Deflectometer* (FWD). El uso de este está en discusión ya que debe ser suministrado por el organismo del estado con quién se coordina este estudio.

11 Conclusiones

La literatura acerca del reforzamiento de pavimentos flexibles con el uso de geosintéticos registra detalladamente la cuantificación del desempeño de estos. Sin embargo, estas están sujetas a condiciones y variables como el tipo de geosintético, tipo de estructura de pavimento, espesores de sus capas, características de material asfáltico, material de agregado, tipo de suelos de la sub base, nivel freático y condiciones ambientales. Definir entonces como es este comportamiento y el desempeño de los geosintéticos en la función de refuerzo y separación, necesitaría de un detallado plan de mediciones de todas estas variables. Este trabajo ha presentado un plan que no alcanza a llenar todas estas expectativas, sin embargo, define el Plan de Mediciones Instrumentales necesarias para contribuir con este entendimiento que servirá para adoptar nuevas metodologías de mantenimiento mas económicas y efectivas para las vías de nuestro país.

Referencias

- Kwasi A, 1997, In-situ behavior of geosynthetically stabilized flexible pavement, Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University Charles E, Via Department of Civil Engineering.
- Al-Qadi IL, Brandon TL, Valentine RJ y, Smith TE, 1994, Laboratory evaluation of geosynthetic reinforced pavement sections, Transportation Research Board, No, 1439, 73rd Annual Meeting, Washington, DC, pp. 25-31.
- Al-Qadi IL, Brandon TL, Lacina BA y Bhutta SA, 1996, Construction and instrumentation of geosynthetically stabilized secondary road test sections, Transportation Research Board, No 1534, Washington DC, pp. 55-57.
- Bell JR, 1980, Geotextile for soil improvement, Proceedings of the American Society of Civil Engineers National Convention, Portland, OR, pp. 1-30.
- Bell AL, McCullough ML y Snaith MS, 1982, An experimental investigation of sub-base protection using geotextiles, Proceedings of the Second International Conference on Geotextiles, Vol. 2, Las Vegas, NV pp. 435-440.
- Barksdale RD, Brown S F y Chan F, 1989, Potential benefits of geosynthetics in flexible pavement systems, National Cooperative Highway Research Program Report 315, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Jorenby BN y Hicks RG, 1986, Base contamination limits, Transportation Research Record, No, 1095, Washington DC, pp. 86-102.
- Carroll RG, Wall JC y Hass R, 1987, Granular base reinforcement of flexible pavements using geogrids, geosynthetic Conference, New Orleans, LA, pp. 46-57.
- Christopher BR y RD Holtz, 1985, Geotextile engineering manual, Report FHWA-TS-86/203 STS Consultants, Ltd, Northbrook, IL, for Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Giroud JP Y Noiray L, 1980, Geotextile reinforced unpaved

- road design, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. GT 9, No. 1107, pp. 1233-1254.
- Hausmann MR, 1987, Geotextile for unpaved roads- Review of design procedures, Geotextiles and Geomembranes, 1987, Vol., 5, No. 3, pp. 201-233.
- Haliburton TA y Barron JV, 1983, Optimum method for design of fabric-reinforced unsurfaced roads, Transportation Research Record No. 916, No. 26-32, Washington, DC, pp. 26-32.
- Holtz RD yHarr ME, 1983, Analytical and Experimental investigation of soil reinforcing, Report No, ESL-TR-82-31, Purdue University, West Lafayette, IN for Tyndall AFB, FL.
- Reyes OJ, Camacho JF y Reyes F, 2004, Comparación del cálculo de una estructura de pavimento flexible por elementos finitos y cálculo teórico, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, No. 14, pp. 6-13.
- Webster SL, 1991, Geogrid reinforced base courses for flexible pavements for light aircraft, Report No, GL-93-6, Report for the U,S Department of Transportation/ Federal Aviation Administration/ Department of Army Geotechnical Laboratory, Vicksburg, MS.
- White DW, 1991, Literature review on geotextiles to improve pavements for general aviation airports, Paper GL-91-3, USAE Waterways Experiment Station.

