

# Incorporación de la Capacidad de Separación / Estabilización del Geotextil en el Diseño de Pavimentos Flexibles usando el Método AASHTO.

José. Roberto Montalvo, P.E., MSCE  
Amoco Fabrics & Fibers Company, Atlanta, Georgia, USA

Mark Marienfeld, P.E.  
Amoco Fabrics & Fibers Company, Atlanta, Georgia, USA

**RESUMEN:** La mayoría de los métodos previamente utilizados que intentan incorporar geotextiles en el diseño de pavimentos flexibles no han explícitamente considerado el aumento en la capacidad estructural del pavimento por la presencia del geotextil. La efectividad de un geotextil en su capacidad de estabilización y separación de secciones de pavimentos flexibles fue investigada extensamente a Virginia Tech (Valentine, 1997; Al-Qadi, et.al., 1995 & 1997; Lacina, 1995; and Smith, 1994). En sus investigaciones en subrasantes de suelos blandos (CBR = 2%), ellos encontraron que el geotextil extiende la vida de servicio del pavimento flexible por un factor de 2.5 a 3.2 comparados con secciones no estabilizadas. En secciones con CBR entre 4.2 a 4.5 %, ellos encontraron que el geotextil aumenta la vida de servicio del pavimento por un factor de 2.0 a 3.3. Basado en estos estudios y utilizando el método de dimensionamiento para pavimento flexible de la AASHTO [1993] podemos tomar mucho más en consideración los beneficios del geotextil en la estabilización de carreteras.

**PALABRAS CLAVES:** Geotextil, Capacidad, Separación, Estabilización, Suelos Blandos

## INTRODUCCION

La estructura de una carretera, permanente o temporal, deriva su apoyo de la subrasante subyacente. Las sobre capas estructurales de pavimento confinado y/o agregados no confinado proporcionan una superficie de rodadura y al mismo tiempo distribuyen la carga vehiculares sobre la subrasante. La mayoría de los sistemas de pavimentos flexibles constan de tres capas de materiales generales, subrasante de tierra, agregado no confinado, y la capa confinada del pavimento. El sistema del pavimento mantiene su serviciabilidad hasta que uno o más de las capas dejan de ejecutar su función.

En general, este papel presenta el diseño de la estructura de pavimentos flexibles de acuerdo con Asociación Americana de Carretera y Oficiales de Transportación (del Inglés AASHTO) [ 1993] y la filosofía de incorporar un geotextil como un medio de separación/estabilización. Esta filosofía

esta presentada en cuatro secciones. La primera sección brevemente presenta el método de diseño de pavimento flexible de la AASHTO [ 1993]. La segunda sección presenta los parámetros de diseño para el uso de geotextiles como medio de separación/estabilización dentro del pavimento. La tercera sección presenta un método de análisis que permite al diseñador determinar la extensión de la vida de servicio que un geotextil proporcionará al pavimento. Y la cuarta sección incluye un método por el que el diseñador puede determinar la reducción en espesor del pavimento si se incorpora un geotextil.

### 1. DISEÑO NORMAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE - AASHTO [ 1993]

Esta sección presenta el método normal para el diseño de pavimentos flexibles de la AASHTO[1993]. La mayoría de los ingenieros civiles tienen algo de experiencia en el método AASHTO o tienen acceso al manual de diseño publicado por la

AASHTO. Por consiguiente, no se incluyen muchos de los detalles del método en esta sección. Donde sea necesario un análisis particular y riguroso, referimos al lector a la “Guía para el Diseño de la Estructura del Pavimento” de la AASHTO [ 1993].

### 1.1 Diseño de la Sección del Pavimento

El primer paso en el diseño de la sección de un pavimento es determinar que capacidad estructural se requiere de él. La capacidad estructural se expresa como el Número Estructural (SN) requerido. Este valor es una función del tráfico sobre el pavimento a través de su vida de servicio (Eje de Carga Sencillo Equivalente, ESAL del Inglés) y la resistencia del suelo de la subrasante (Módulo Resiliente, Mr). El valor del SN requerido se puede determinar usando la Ecuación 1 ó la Figura 1

$$\log_{10} W_{18} = \{Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 20 + [\log_{10}(\Delta PSI / (4.2-1.5)) / (0.40 + 1094 / (SN+1)^{5.19})] + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07\}$$

Ec. 1

donde:

- $W_{18}$  = ESAL del Carril de Diseño.
- $Z_R$  = Variación Estándares Normales
- $S_o$  = Desviación Normal
- $M_R$  = Módulo Resiliente Efectivo
- SN = Número Estructural del Pavimento
- $\Delta PSI$  = Cambio en el índice de Serviciabilidad del Pavimento ( $p_o - p_t$ ).
- $p_o$  = Serviciabilidad Inicial
- $p_t$  = Serviciabilidad Final

Se puede ver que la Ecuación 1 no resuelve para el valor del SN directamente, más bien resuelve para el valor de  $W_{18}$ . Para obtener el valor de SN se requiere un proceso de iteración.

El ESAL,  $W_{18}$ , del carril de diseño depende del análisis de tráfico y requiere la evaluación de volumen del tráfico inicial, crecimiento del tráfico, de la distribución direccional, y del tipo de tráfico.

### 1.2 El Número Estructural (SN)

El objetivo en el diseño de la sección del pavimento tiene dos criterios: primeros, la sección debe proporcionar el SN requerido basado en tráfico y análisis de la subrasante; segundo, el espesor de cada capa en el pavimento debe ser optimizado basado en el costo de los materiales disponibles.

El SN requerido puede ser calculado usando Ecuación 2.

$$SN \leq a_1 d_1 m_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 + \dots$$

Ec. 2

donde:

- $a_1$  = coeficiente de carga para capa 1
- $d_1$  = espesor de capa 1 (en pulgadas), y
- $m_1$  = factor de drenaje para capa 1, etc.

El valor del coeficiente de carga de una capa expresa una medida de la fiabilidad relativa del material para que funcione como un componente estructural en la sección del pavimento. A continuación están dados algunos valores típicos del coeficiente de carga de materiales para capas diferentes :

Coeficiente de la capa de rodadura, " $a_1$ ", típicamente es un Asfalto de Mezcla Caliente (del Inglés HMA). El coeficiente típico de la capa de Asfalto es de 0.40 a 0.42.

Coeficiente de la capa de material de base, " $a_2$ " - típicamente es un agregado duro de granito triturado, en el cual podría usarse un coeficiente de capa de 0.14. Sin embargo, agregado de piedra caliza de la Florida o las islas del caribe solamente podría usarse un coeficiente de capa de 0.08.

Coeficiente de la capa de material de subbase, " $a_3$ ", normalmente es un material de más baja calidad que el de la capa de base porque típicamente contiene un porcentaje

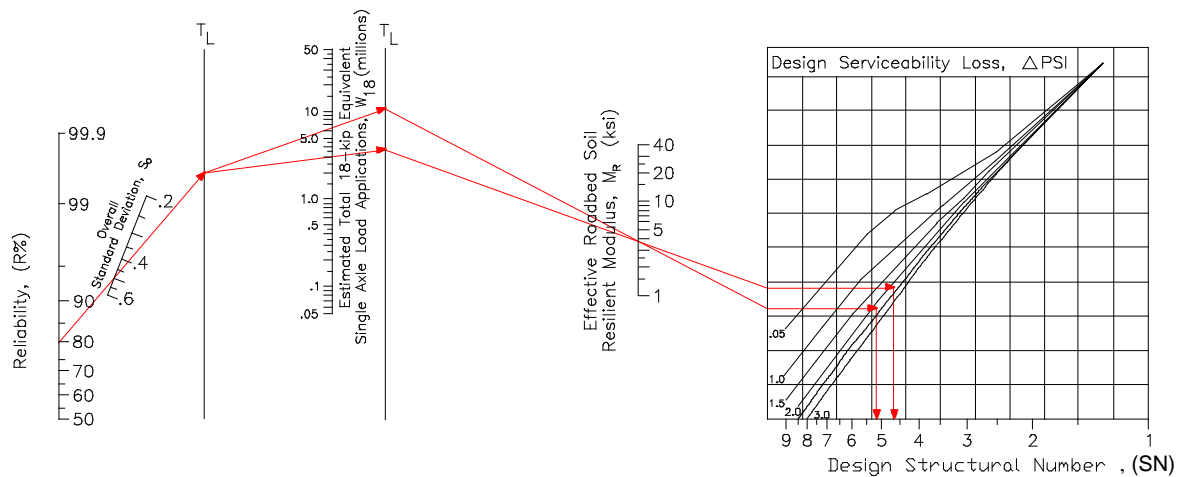


Figura 1 - Capacidad Estructural (SN) del Pavimento Flexible [AASHTO 1993]

más alto de finos (15- 50%). Un valor típico para este coeficiente de capa es 0.06 a 0.12.

El factor de drenaje,  $m_i$ , es usado para cuantificar la capacidad del drenaje de las capas estructurales del pavimento. Se puede ver en la Ecuación 2 que donde el valor de  $m_i$  excede 1.0, la capacidad del drenaje del pavimento aumenta el número estructural del pavimento. Donde el valor de  $m_i$  es menor de 1.0, la capacidad del drenaje del pavimento disminuye el número estructural del pavimento. Drenaje es indudablemente la menos apreciada propiedad en el pavimento.

El valor del factor de drenaje,  $m_i$ , se determina evaluando la calidad del drenaje y la frecuencia del pavimento mojado. El método de diseño de la AASHTO proporciona las siguientes definiciones generales, Tabla 1, para describir la capacidad del drenaje de una sección del pavimento.

Para un sistema de pavimento que incluye mecanismos de drenaje (ej. drenaje a lo largo del pavimento) y una capa de agregado de graduación abierta, sin finos, probablemente se puede caracterizar la calidad del drenaje de "Bueno" a "Excelente". Donde el pavimento incluye mecanismos de drenaje y agregado con 5 a 7 % de finos, se puede caracterizar la calidad del drenaje como "Bueno" a "Promedio". Donde un agregado de

graduación densa es usado, o donde el contenido de fino excede 12 a 15 %, la calidad del drenaje del pavimento es probablemente "Pobre" a "Muy Pobre."

Tabla 1 Definiciones de la AASHTO [1993] para la capacidad del drenaje de pavimentos.

Calidad del Drenaje	Desalojo de agua dentro de
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Promedio	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	el agua no se va

La frecuencia del pavimento mojado se caracteriza por el por ciento de tiempo que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cerca de la saturación. La calidad del drenaje de una carretera y la frecuencia de humedad se combinan para obtener los valores del factor de drenaje,  $m_i$ , Tabla 2.

## 2. INCORPORACION DEL GEOTEXTIL EN LA METODOLOGIA DE DISEÑO

Las propiedades del geotextil que mejoran el funcionamiento de un camino sin pavimentar también contribuyen con el funcionamiento

Tabla 2 - Valores Recomendados para el factor de drenaje,  $m_i$ , para materiales de base no tratadas y subbase en pavimentos flexibles [ AASHTO, 1993].

Calidad de Drenaje	Factor de Drenaje, $m_i$			
	Por ciento de tiempo el pavimento esta expuesto a niveles de humedad cerca de la saturación			
	Menos de 1%	1 a 5%	5 a 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Promedio	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

de una carretera pavimentada. Para subrasantes débiles (ej.  $CBR < 3\%$ ), el geotextil actúa como un estabilizador durante la construcción de la base ó subbase de agregado y proporciona una separación a largo plazo de estas capas de la subrasante. Para subrasantes con capacidad portante moderada ( $3\% < CBR < 8\%$ ), el geotextil principalmente actúa como un separador.

La efectividad de un geotextil en el papel de estabilización y separación dentro de secciones del pavimento flexible ha sido investigada extensivamente a Virginia Tech. (Valentine, 1997; Al-Qadi et. al, 1997; Lacina, 1995; Al-Qadi et. al, 1994; Smith et. Al, 1995). En sus estudios de la estabilización con geotextiles en subrasantes débiles ( $CBR = 2\%$ ), los investigadores encontraron que el geotextil extiende la vida de servicio del pavimento flexible por un factor de 2.5 a 3.2, comparado con la sección no-estabilizada. Más allá, los investigadores encontraron que el geotextil efectivamente aumentó el SN total de la sección del pavimento aproximadamente un 19 %.

Los investigadores también estudiaron el efecto de un geotextil en secciones del pavimento construido sobre de subrasantes con valores de CBR entre 4.2 a 4.5 %. Dado éstas capacidades moderadas de la subrasante, los investigadores encontraron que el geotextile aumentó la vida de servicio del pavimento por un factor de 2.0 a 3.3 y aumentó el número estructural total del pavimento de 13 a 22 %.

El diseño de secciones de pavimento flexibles incorporado geotextiles pueden ser

realizado usando muchas de las metodologías del diseño existentes. El método AASHTO (1986) fue modificado parcialmente para considerar la contribución del geotextil y se puede encontrado en la reciente publicación de la Administración Federal de Carretera de los Estados Unidos (FHWA), "Geosynthetic Design and Construction Guidelines" (Holtz et. al, 1995). Este método de diseño ha sido adaptado en el programa llamado "Amospec", y está disponible a través de la compañía Amoco Fabrics and Fibers.

Los métodos previos que incorporan el geotextil en el diseño de pavimentos flexibles no han explícitamente tomado en cuenta el aumento en la capacidad estructural que resulta por la presencia del geotextil. El procedimiento presentado en este papel permite al diseñador considerar más las ventajas de las capacidades del geotextil. Este método esta basado en la relación establecida en la investigación a Virginia Tech entre el funcionamiento de pavimentos estabilizados con un geotextil y pavimentos no estabilizado [Al-Qadi et. al, 1997]. Los resultados de los estudios a Virginia Tech se expresan en la relación en forma gráfica mostrada en la Figura 2. Los datos de la curva han pasado las pruebas de estadísticas  $t$  y  $F$  y tienen un  $R^2$  mayor de un 98 %. La curva puede ser usada para determinar el aumento de la vida de servicio que un geotextil proporciona al pavimento flexible o la disminución en espesor de la sección que un geotextil podría permitir. Se recomienda que el geotextil se use para extender la vida de servicio de pavimentos

flexibles en lugar de reducir el espesor del agregado requerido.

Como previamente discutido, la metodología usada para diseñar una carretera con geotextiles depende de la capacidad portante de la subrasante. Donde la subrasante tiene un CBR menor de 3 %, podría ser necesario usar más agregado que el indicado por el método de diseño de AASHTO para estabilizar la subrasante de tierra, de tal modo que se permita el tráfico de los vehículos de construcción. El dimensionamiento de esta capa de estabilización de agregado puede ser efectuado usando ampliamente aceptado diseño de camino sin pavimentar incorporando un geotextil. Típicamente el geotextil ahorra hasta un tercio del agregado de estabilización requerido. Donde la subrasante tiene un CBR mayor de 3 %, no se requiere típicamente estabilización y el pavimento puede ser dimensionado usando el método de AASHTO y incorporando el geotextil como medio de separación.

### 3. DISEÑO PARA EXTENDER LA VIDA DE SERVICIO DEL PAVIMENTO

Los pasos siguientes deben usarse para calcular la vida de servicio proporcionada por una sección de pavimento flexible estabilizada con un geotextil e igual espesor.

1. Calcule el ESAL del carril de diseño,  $W_{18}$ .
2. Localice el ESAL de diseño en el eje "Y" de la Figura 2 y determine el correspondiente ESAL sin el geotextil en el eje "X". Este valor representa la vida de servicio extendida del pavimento en término de ESALs.
3. Ejecute el diseño del pavimento de acuerdo con método de AASHTO [1993].
4. Ejecute un chequeo de constructabilidad para verificar que la

primera capa de agregado de la subbase o base es adecuada para soportar los vehículos de construcción. Si esta capa no proporciona un soporte adecuado, use metodología de diseño normal para calcular caminos sin pavimentar para corregir el diseño del agregado de la base o subbase.

#### 3.1 Ejemplo de Diseño - Extensión de la Vida de Servicio del Pavimento.

Diseñe una sección de pavimento usando un geotextil. Usando el método de diseño de pavimento flexible de AASHTO y la Figura 2, determine el aumento de la vida de servicio que un geotextil proporcionará dado los siguientes datos:

Tipo de Camino = colector menor rural

Período de diseño = 20 años

Tasa de crecimiento = 2 %

$R = 80\%$ ;  $S_o = 0.49$

CBR de la subrasante = 2.5 %

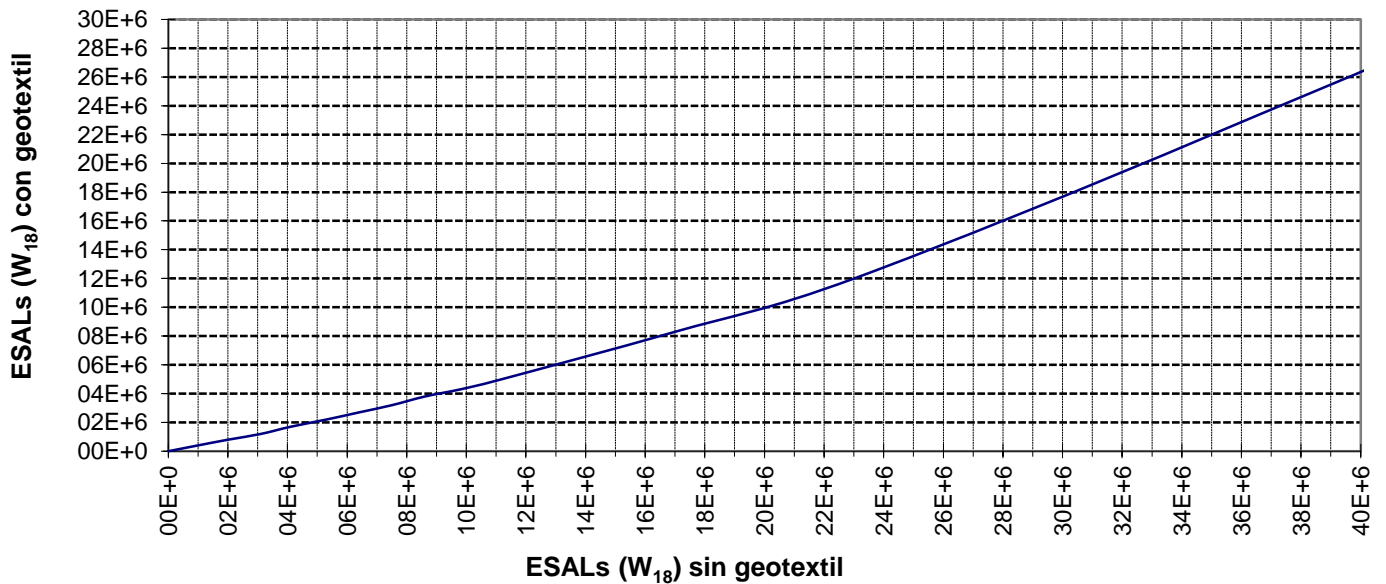
$p_o = 4.2$ ;  $p_t = 2.0$

$a_1 = 0.42$ ;  $a_2 = 0.12$ ;  $m_2 = 1.2$

Solución:

1. El ESAL del carril de diseño,  $W_{18}$ , para 20 años y una tasa de crecimiento de 2 % se calculó y es 6,111,000.
2. Determine el aumento en  $W_{18}$  que es permitido por el uso de un geotextil. Ejecute esto localizando el valor inicial de  $W_{18}$  en el eje "Y" de la Figura 2. La intercepción en el eje "X" corresponde al  $W_{18}$  (sin geotextil) y es igual a 13,000,000 ESAL.

Usando un proceso de prueba y error en una hoja de cálculo electrónica revela que  $W_{18}$  es igual a 13,000,000 si el factor de crecimiento es igual a 47.15 y la tasa de crecimiento es constante a 2 %. Usando la ecuación del factor de crecimiento con un valor igual a 47.15, el resultado es el



\*Nota: Asume secciones estructurales del pavimento iguales siendo la inclusión del geotextil la única diferencia.

**Figura 2 - ESALS aceptable con y sin un geotextil de separación / estabilización**

período de servicio del pavimento.

$$\text{Factor de crecimiento} = [(1 + g)^n - 1] / g$$

donde:

$$g = [\text{tasa de crecimiento anual}] / 100$$

y no es ceros

$$n = \text{período de diseño, en años}$$

$$47.15 = [(1 + 0.02)^n - 1] / 0.02$$

$$n = 33.5 \text{ años}$$

Por consiguiente, el uso de un geotextil para éstos parámetros de tráfico aumentarán el período de diseño de 20 años a aproximadamente 33 años. La sección estructural del pavimento y el número estructural (SN) se mantienen y la única mejoría es la incorporación del geotextil costo-efectivo.

#### 4. DISEÑO REDUCIENDO EL ESPESOR DEL PAVIMENTO

Los pasos siguientes deben ser usado para calcular la reducción en espesor del pavimento que es posible cuando se use un geotextil.

1. Calcule el ESAL del carril de diseño,  $W_{18}$ .
2. Localice el ESAL de diseño,  $W_{18}$ , en el eje "X" de la Figura 2 y determine el correspondiente ESAL modificado por la presencia del geotextil en el eje "Y".
3. El ESAL modificado corresponde al  $W_{18}$  con el cual el pavimento podría ser diseñado si se incluye un geotextil. Para obtener el espesor total del pavimento usando el  $W_{18}$  modificado, use la Figura 1 y obtenga el SN requerido.
4. Ejecute un chequeo de constructabilidad para verificar que el espesor del agregado requerido usando el método AASHTO es suficiente soportar los vehículos de construcción del camino. Esto debe hacerse usando un método para el dimensionamiento de camino sin pavimentar o temporales. Compare este espesor con el espesor del agregado de base calculado por el método AASHTO. Si el espesor del agregado requerido por el método AASHTO es menor que el indicado por el método de diseño de camino temporal, entonces use un equipo de construcción que transmita una presión más baja hacia las capas

subyacente del pavimento o aumente el espesor del agregado total a una cantidad igual al requerido por el método de diseño de camino temporal.

#### 4.1 Ejemplo de Diseño - Reducción del Espesor.

Calcule el SN requerido y la sección mínima del pavimento, con y sin un geotextil usando los parámetros del Ejemplo 3.1. Mantenga una proporción de d1: d2 (HMA : base) entre 1: 3 y 1: 4

$$\begin{array}{ll} W_{18} = 6,111,000 & p_o = 4.2 \\ R = 80\% & p_t = 2.0 \\ S_o = 0.49 & a_1 = 0.42 \\ M_R = 3,750 \text{ psi} & a_2 = 0.12 \\ \text{CBR} = 2.5\% & m_2 = 1.2 \end{array}$$

Solución:

1. El valor de  $W_{18}$  es 6,111,000 ESAL.
2. El valor de  $W_{18}$  modificado es 2,850,000 ESAL (usando Figura 2).
3. Calcule el SN requerido usando la Figura 1 (con y sin geotextil). Cuando el geotextil no es usado,  $W_{18} = 6,111,000$  ESAL y el SN es igual a 5.1. Cuando se usa un geotextil,  $W_{18} = 2,850,000$  ESAL y el SN es igual a 4.6.
4. Los espesores requeridos del pavimento con o sin el geotextil pueden ser determinado usando la ecuación 2 y el número estructural(SN) correspondiente en cada caso. Si se usa un geotextil, el espesor del HMA, o del agregado, o ambos espesores se pueden reducir para obtener el SN requerido.

Usando los mismos materiales de capa estructurales, el uso del geotextil permitirá la reducción de 4 pulgadas de agregado, o 1 pulgada de HMA y 1 pulgada de agregado.

Es importante enfatizar que el uso de un geotextil como medio de separación/estabilización permitirá el uso de un agregado de base con granulometría abierta y drenaje libre, sin el miedo de intrusión y contaminación de la subrasante. El agregado de drenaje libre tendrá un

factor de drenaje mucho más alto, lo que significa que el espesor necesario para alcanzar la misma capacidad estructural es menor, puesto que un agregado de espesor mayor y graduación densa no drena rápidamente.

#### 5. RESUMEN

Esta metodología de diseño para estabilizar caminos con geotextiles fue desarrollada por Dr. Al-Qadi en la Universidad Virginia Tech. Aunque el desarrollo del procedimiento consideró el comportamiento visco-elástico de la Mezcla Asfáltica en Caliente (HMA), el procedimiento de diseño del pavimento esta basado en los criterios de diseño de la AASHTO [1993]. Este procedimiento de diseño está también basado en los ensayos de laboratorios de 18 secciones de pavimentos flexibles y verificando los resultados con una cuidadosamente controlada y monitoreada sección de prueba bajo condiciones del tráfico reales.

Esta metodología del diseño toma en consideración los beneficios incrementados del pavimento a corto plazo con un geotextil. Los beneficios de la separación a largo plazo se mantendrán indefinidamente ya que muchos geotextiles han sido exhumado después de más de 20 años con pequeño, si tienen, deterioración de la tela. Los beneficios de separación/estabilización acopla con la habilidad de usar una base de agregado abierta y de drenaje libre, que en combinación le da un beneficio estructural al pavimento, el cual es mucha veces el costo de estos geotextiles baratos. Muy pocas condiciones en pavimentos nuevos no garantizarían el uso de un geotextil de separación/estabilización.

## REFERENCIAS

- AASHTO (1986) Guide for the Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- AASHTO (1993) Guide for the Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- Al-Qadi, I. L., Brandon, T. L., Bhutta, S. A., and Lacina. B. A. (1997). "Geosynthetically Stabilized Flexible Pavements: Virginia Tech Study," Proceedings, Geosynthetics '97 Conference, Long Beach.
- Al-Qadi, I. L., Brandon, T. L., Valentine, R. J., Lacina. B. A., and Smith, T.E. (1994). "How Do Geosynthetics Improve Pavement Performance," Proceedings of Infrastructure: New Materials and Methods for Repair, ASCE, San Diego, pp. 606-616.
- Lacina, B. A. (1995). A Study of the Response of Geosynthetic Reinforced Flexible Pavement Test Sections to Dynamic Loading, Thesis submitted in partial fulfillment for the Degree of M.S.: Virginia Tech, Blacksburg, VA.
- Smith, T.E., Brandon, T.L., Al-Qadi, I.L., Lacina, B.A., Bhutta, S.A., and Hoffman, S.E. (1995). "Laboratory Behavior of Geogrid and Geotextile Reinforced Flexible Pavements; Final Report," Virginia Tech, Blacksburg, VA.
- Valentine, R. J. (1997). Laboratory Performance of Geosynthetic-Stabilized Pavement Sections, Thesis submitted in partial fulfillment for the Degree of M.S.: Virginia Tech, Blacksburg, VA.
- Holtz, R.D., Christopher, B., Berg, R. (1995) Geosynthetic Design & Construction Guidelines, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA Hi-95-038.