

Del mantenimiento de pavimentos

Efectividad en el corto plazo. Pavimentos permeables y escorrentía. Mejora de drenaje en pavimentos.

Efectividad en el corto plazo

Referencia

Samuel Lai and Kumares C. Sinha (Purdue University, Indianapolis).
Measures of Short-Term Effectiveness of Highway Pavement Maintenance.
Journal of Transportation Engineering. Vol 129, N° 6, November 1, 2003.
ASCE, USA.

El artículo busca encontrar y evaluar una medida de efectividad del mantenimiento en el corto plazo. Propone una secuencia de tres pasos: determinar el tipo de medida, calcular la efectividad, y desarrollar un modelo de medida de efectividad. Para el primer paso, la investigación explora varias de estas medidas: el nivel de reducción del deterioro, la mejora o salto en el desempeño, y la reducción de la tasa de deterioro. También discute los métodos de cálculo, revisa los estudios pasados, así como los méritos y limitaciones del caso. Considera el artículo que el tiempo entre el mantenimiento del pavimento y su monitoreo para un año dado, es crucial en los cálculos de cualquier medición, así que estudiando dos escenarios de tiempo, propone una fórmula matemática para el cálculo de cada medida de efectividad. Relaciona las tres medidas para cada uno de los dos escenarios que estudia. Finalmente, ilustra el estudio con datos de campo.

Introducción

El mantenimiento de carreteras implica medidas correctivas de diverso nivel: *menor* (como el sellado de grietas), *moderado* (como el sellado en la amplitud de la vía), o *mayor* (como el trabajo con asfalto caliente). Su efectividad puede ser evaluada en el *corto plazo* (para un tratamiento individual), o de *largo plazo* (para tratamientos combinados en el ciclo de vía del pavimento).

Es imperativo evaluar la efectividad en el corto plazo de tratamientos individuales (o como parte de una combinación) para tomar decisiones respecto al: tipo de tratamiento, material usado, procedimiento, o forma de contratación. La investigación considera los siguientes tres pasos para llegar a un método de esta evaluación: (1) ¿cómo medir la efectividad?, (2) ¿cuán efectivo fue el tratamiento?, y (3) en caso de ser efectivo, ¿cómo modelar una función de medición?

Concepto de reducción de deterioro

La reducción de deterioro, o la efectividad del mantenimiento, se entiende como el incremento de un atributo positivo de servicio (o el decremento de un atributo negativo) de un sistema físico sometido a un tratamiento. En el caso de pavimentos, las mejoras pueden estar dirigidas a incrementar: el índice de operatividad (PSI), el índice de la calidad del pavimento, o la tasa de condición del pavimento (PCR). O a la reducción del número de rugosidad (RN) o del índice internacional de rugosidad (IRI).

Respecto al número de mediciones, existen varias opciones.

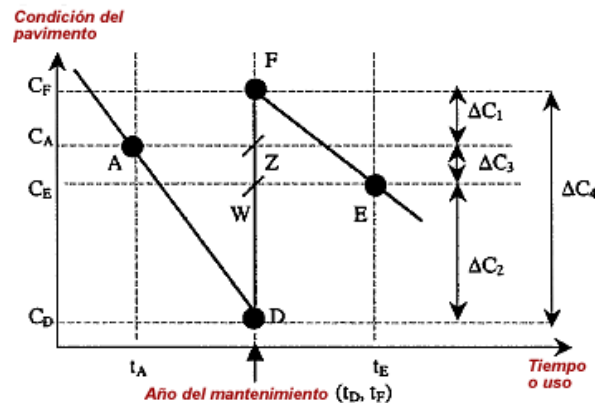
- La más simple es efectuar la medición en dos puntos representativos de inmediatamente antes y después del mantenimiento, dando como resultado el *salto de desempeño*.
- O usando dos medidas: una en un tiempo específico (por ejemplo, un año) antes del mantenimiento, y el otro justamente después del mantenimiento.
- O una medida justo antes del mantenimiento, y otra después de un tiempo determinado.
- Otra forma es hacer tres mediciones: una a un tiempo específico del mantenimiento (dígase, un año), la otra inmediatamente antes o después del mantenimiento, y la tercera después de un tiempo determinado.

Como resultado, para autores de otros estudios, el cambio en la condición del pavimento podría conducir a: (a) una mejora después del mantenimiento (muy cerca o posterior a un periodo determinado), y (b) una reducción en la tasa de deterioro subsiguiente al mantenimiento. Según los autores de este artículo, con el mantenimiento se obtiene una mejora o salto de desempeño, pero posteriormente la tasa de deterioro, puede ser menor, igual o aún mayor.

La efectividad en el corto plazo

Se consideran tres medidas: nivel de reducción del deterioro (DRL), salto de desempeño (PJ), y reducción de la tasa de deterioro (DRR).

◆ Nivel de reducción de deterioro, DRL



CONCEPTO DE REDUCCIÓN DEL NIVEL DE DETERIORO PARA MEDICIONES DE EFECTIVIDAD EN EL CORTO PLAZO

Es definido como el incremento de la condición de la infraestructura como consecuencia de la aplicación del mantenimiento. Es calculado a partir de mediciones de deterioro entre dos puntos consecutivos, espaciados en el tiempo (típicamente un año). En la figura, el punto A corresponde a una situación antes (por ejemplo, un año) del mantenimiento. El punto D es el estado justo antes del mantenimiento. El punto F es la situación del pavimento justo después del mantenimiento. El punto E corresponde al estado del pavimento después de un tiempo especificado.

Si C_i representa la condición del pavimento en el tiempo t_i , se pueden hacer los siguientes cálculos respecto a DRL:

- $DRL_{tipo I} = \Delta C_1$, como el valor AF, representa el cambio desde un periodo previo (A) al inmediatamente después del mantenimiento (F). Con esta medida, se ignora el efecto DZ de recuperación que ocasiona el mantenimiento.
- $DRL_{tipo II} = \Delta C_2$, como el valor DW, representa el cambio inmediatamente antes (D), y después de un tiempo específico (E). Esta medida no toma en cuenta la efectividad del mantenimiento en recuperar su condición desde el punto W al F.
- $DRL_{tipo III} = \Delta C_3$, como el valor ZW, representa la diferencia de deterioro entre un tiempo antes del mantenimiento (A), y otro después de un tiempo (E). Con esta medida se sub estima el efecto del mantenimiento. Incluso, pudiera ser negativa la acción del mismo.

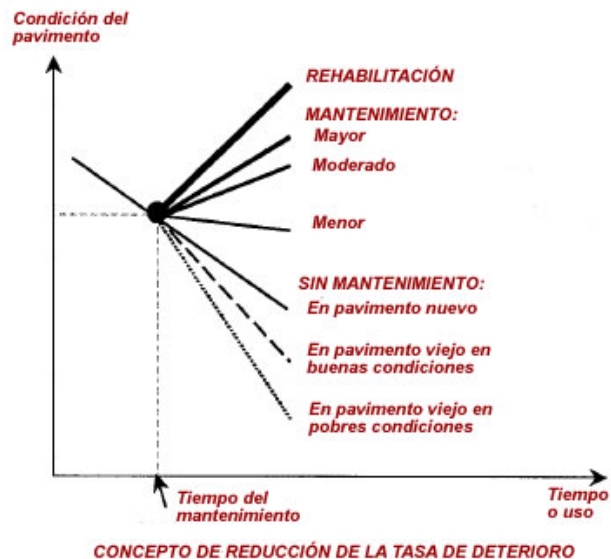
Aunque el *DLR* ha sido muy empleado, los autores apuntan que podría llevar a conclusiones equivocadas o confusas.

◆ Salto de desempeño, PJ

$PJ = \Delta C_4$, corresponde a DF en la misma figura, se interpreta como el salto instantáneo de elevación del desempeño o condición del pavimento. Este concepto ha tenido escasa aplicación. Incluso se dificulta establecer el periodo de antes y después, así como las propias mediciones.

◆ Reducción de la tasa de deterioro, DRR

Este concepto se deriva de la necesidad de disminuir la pendiente o velocidad de deterioro del pavimento. DRR se calcula como la diferencia en pendiente de la curva de deterioro antes y después del mantenimiento.



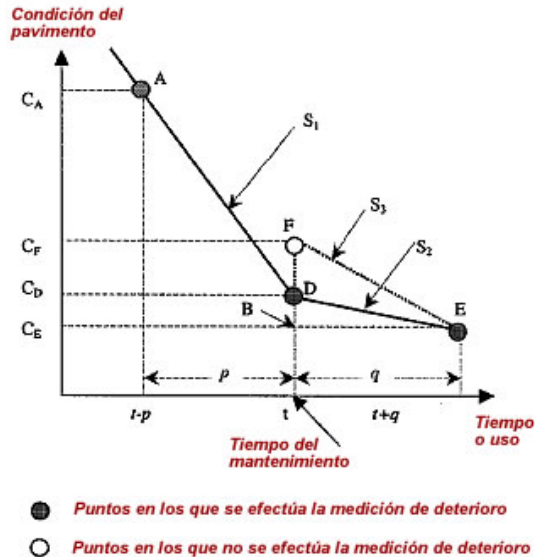
La figura ilustra la velocidad del deterioro en los pavimentos, según su edad y condición, así como la mejora según el tipo de mantenimiento, o por una rehabilitación.

Se requiere de cuando menos tres puntos de medición. Pero por el tiempo que debe transcurrir, y los otros tratamientos o acciones externas, no siempre es posible encontrar un valor *limpio* para este cambio de tasa.

Modelos para medir la reducción del deterioro

◆ Escenario 1: el mantenimiento es llevado a cabo después de la medición del deterioro

El modelo gráfico empleado es el siguiente.



ESCENARIO 1: MANTENIMIENTO DESPUÉS DEL MONITOREO

A: punto de deterioro en el periodo p antes del mantenimiento.

D: punto de deterioro justo antes de la ejecución del mantenimiento.

E: punto de deterioro en un periodo q después del mantenimiento.

F: punto virtual para el nivel de deterioro después del mantenimiento.

B: punto para efectos del cálculo.

C_A , C_F , C_D , C_E : niveles de deterioro según los puntos correspondientes.

S_1 : pendiente de deterioro antes del mantenimiento.

S_2 : pendiente de deterioro después del mantenimiento, según es medida.

S_3 : pendiente de deterioro después del mantenimiento, que no es medida.

$S_3/S_1 = k$: relación de pendientes.

A partir de esta denominación y de las relaciones geométricas, el artículo presenta los resultados para las mediciones de PJ, DRL y DRR, indicando el inconveniente de no contar con un valor medido de k .

Igualmente el estudio proporciona relaciones entre los tres índices.

◆ Escenario 2: el mantenimiento es llevado a cabo antes de la medición de deterioro

También para este escenario el estudio muestra un modelo gráfico con denominaciones geométricas y parámetros similares, así:

A: punto de deterioro en el periodo p antes del mantenimiento.

D: punto de deterioro justo antes de la ejecución del mantenimiento.

E: punto de deterioro en un periodo q después del mantenimiento.

F: punto virtual para el nivel de deterioro después del mantenimiento.

permeables de la primera generación. Reduce la visión de agua en la vía, así como el salpicado y vaporización favoreciendo la visibilidad y tracción en tiempos húmedos.

Michael E. Barret (University of Texas, Austin, Texas). *Effects of a Permeable Friction Course on Highway Runoff*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol 134, N° 5, October 1, 2008. ASCE, USA.

El estudio documenta el impacto de una carpeta de asfalto poroso en la calidad y cantidad del control de escorrentías en carreteras. Esta capa de pavimento permeable tiene un espesor aproximado de 50 mm, y es aplicado como carpeta superior para aumentar la seguridad y reducir los ruidos. Beneficia también la limpieza ambiental al reducir el total de sólidos en suspensión y contaminantes asociados (plomo, cobre y zinc). El coeficiente de escorrentía para el PFC es más favorable que en los pavimentos convencionales.



DIFERENCIAS ENTRE PAVIMENTOS PFC Y CONVENCIONALES

Introducción

En el pavimento permeable PFC se elimina el agregado fino de la mezcla de asfalto. Se aplica en una capa de 50 mm encima de la carpeta convencional. El agua de la lluvia drena hasta emerger por los bordes del pavimento. Estas carpetas tienen gran difusión y aplicación pues facilitan la conducción de vehículos en periodos lluviosos, aunque en zonas de congelamiento se debe emplear más sal.

A partir de los propios vehículos, las vías se contaminan con residuos aceites, grasas, cobre y plomo, que a través del salpicado de las llantas contaminan el ambiente. Este salpicado es reducido con el PFC. El agua se filtra a través de los poros y retiene parte del material contaminante.

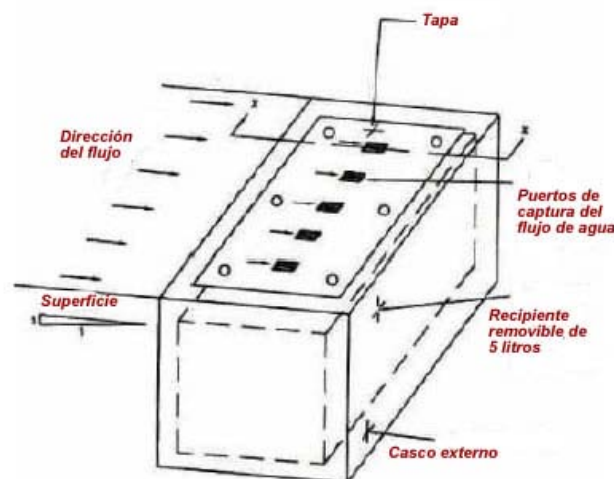


DIAGRAMA DEL CAPTURADOR DE AGUA DE MUESTRA

El objetivo del estudio es comparar la calidad y cantidad de agua de escorrentía derivada de un pavimento PFC en comparación con una mezcla convencional de asfalto caliente. También pretende conocer el cambio en la calidad del agua ante el envejecimiento de la carpeta PFC y la acumulación de sólidos en los poros.

Metodología

El monitoreo de la calidad de agua de escorrentía fue efectuado entre febrero del 2004 a mayo del 2007 en una autopista en Austin, Texas.



El primer monitoreo (antes de la carpeta PFC) fue realizado en marzo del 2004 y obedeció a un sistema de selección y colocación de dispositivos colectores de agua (de 45 x 25 x 17.5 cm), según el esquema previo, y la imagen del dispositivo emplazado.

Las mediciones fueron interrumpidas en octubre del 2004 para la instalación de la carpeta PFC con un 20% de vacíos.

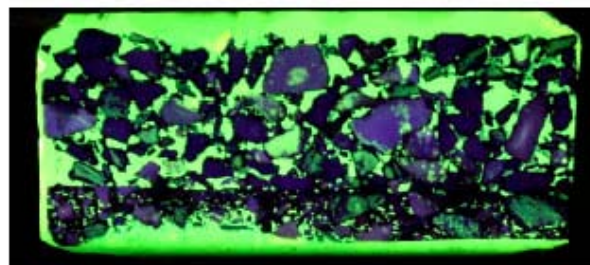
y continuaron después de ésta.

Ello permitió contar con mediciones en etapas cercanas al antes y después del uso de este tipo de dispositivo.



En el trabajo se reporta instrumentación adicional -en noviembre del 2006- (para medir la tasa del flujo) instalada con posterioridad a la colocación de la capa de pavimento poroso. En febrero del 2007 se instalaron nuevos

dispositivos colectores.



NÚCLEO DE PFC CON EPOXI FLUORESCENTE

En marzo del 2007 se cortaron piezas de pavimento poroso, en las líneas extremas de la autopista, a fin de impregnarlas de epoxy fluorescente. El propósito de esta operación es contar con testigos de la porosidad del pavimento, como base para comparaciones que permitan conocer la pérdida progresiva de los vacíos por acumulación de sólidos provenientes de las escorrentías.

Resultados

La comparación de los elementos constitutivos en el agua acopiada entre ambas situaciones (sin y con PFC), indican disminuciones significativas, como por ejemplo: 93% en total de sólidos en suspensión, 36% en total de fósforo, 52% en total de cobre, 88% en total de plomo, 79% en total de zinc.

Mejora de drenaje en pavimentos

Referencia

Imad L. Al-Qadi (University of Illinois, Urbana, Illinois), Samer Lahouar (Virginia Tech Transportation Institute), Amara Loulizi (Virginia Tech Transportation Institute), Mostafa A. Elseifi (Virginia Tech Transportation Institute, Virginia), and John A. Wilkes (Carpi USA, Virginia). *Effective Approach to Improve Pavement Drainage Layers*. Journal of Transportation Engineering, Vol 130, N° 5, September 1, 2004. ASCE, USA.

El estudio estuvo dirigido a: (1) cuantificar los beneficios de una geomembrana especialmente diseñada (una capa de PVC entre dos geotextiles) como barrera a la humedad en sistemas de pavimentos flexibles, y (2) medir, en forma no destructiva, el contenido de humedad en material granular no ligado. La mitad de la geomembrana fue instalada en una sección del pavimento en Virginia (en una vía especialmente diseñada para evaluar los sistemas de transporte y tecnologías), mientras que la otra mitad en otra sección con el mismo diseño pero sin el sistema de geomembrana. La presencia y monitoreo de humedad en el sistema de pavimento fue realizada con el auxilio de un radar de penetración de terreno, para diferentes niveles de acumulación de agua. Los resultados indican que el uso de la geomembrana reduce la infiltración del agua al agregado de la base cuando menos en 30% al hacer las mediciones después de la lluvia. También se estudió el impacto de la humedad en las capas granulares a través del monitoreo de deflexión, indicando los resultados que el uso de geomembranas mostró menores deflexiones. Consideran los autores que cualquier capa de pavimento para drenaje debe tener abajo una interface impermeable.

Introducción

Se considera que la excesiva humedad, en las capas granulares y el material de soporte del sistema de pavimentos, es la causante del deterioro y mal desempeño de sistemas de pavimentos. Las capas de drenaje y los drenes en los bordes se usan en sistemas de pavimentos flexibles para prevenir estos efectos (aunque no suelen impedir la filtración vertical). Igualmente se reconoce como útil el uso de material geosintético. Aunque sin cuantificar, se han hecho estudios previos para estudiar la presencia de humedad usando un sistema de radar.

Este estudio se busca encontrar la efectividad de la geomembrana ya mencionada, y el uso del radar de penetración de terreno para cuantificar la reducción de humedad infiltrada a las capas granulares.

Vía inteligente de Virginia

Llamada *Virginia Smart Road*, es un tramo de 3.2 km diseñado para pruebas controladas. La parte de pavimento flexible incluye 12 secciones con instrumentos *pesados* diferentes.

Durante la construcción se calibraron e incrustaron más de 500 instrumentos para mediciones cuantitativas de respuesta del pavimento a solicitaciones vehiculares y ambientales. Se miden simultáneamente cuando menos dos tipos de respuestas en esfuerzos, deformaciones unitarias o

deflexiones. Los dos primeros son monitoreados a lo largo del eje vertical del pavimento. Se miden parámetros climáticos (incluyendo temperatura), la humedad en la base y sub-base, y el congelamiento.

Uso del radar de penetración de terreno

El radar, del acrónimo radio detection and ranging (uso de ondas de radio para detectar y medir distancias). Utiliza ondas electromagnéticas (que permiten detectar objetos más allá del rango de otro tipo de emisiones), son de baja frecuencia -mayor longitud de onda- para medir distancias, altitudes, direcciones y velocidades de objetos estáticos o móviles como satélites, aeronaves, barcos, vehículos, formaciones meteorológicas y también del propio terreno. Emite un impulso de onda de radio, que se refleja en el objeto y se recibe típicamente en la misma posición del emisor. Se puede extraer gran cantidad de información a partir de este eco. Su desarrollo proviene del trabajo de Heinrich Hertz a finales de 1880, y del descubrimiento de las ondas de radio en 1931 por Karl Jansky.

En un sistema de radar de penetración de terreno, a través de la antena del dispositivo se envía un pulso electromagnético al terreno, y se registran los pulsos reflejados desde las distintas capas, las cuales responden según sus propiedades dieléctricas. Las respuestas permiten encontrar el espesor de las capas así como el contenido de agua de las mismas.

En los sistemas acoplados al aire (pues también hay sistemas acoplados al terreno), las antenas están usualmente entre 150 a 500 mm encima de la superficie. Debido a la interferencia de la capa de pavimento, las ondas tienen baja profundidad de penetración. Sin embargo, se registra gran velocidad en la respuesta.



RADAR DE PENETRACIÓN DE TERRENO

El sistema tiene un par de antenas: una como transmisora y otra como receptora. Al vehículo se le adicionó un medidor de distancias, de tal manera que los datos fueron registrados en función de la distancia.

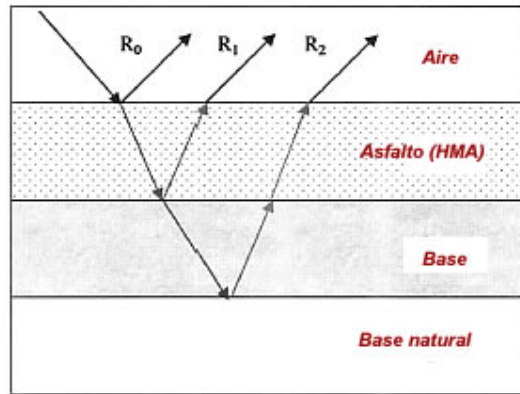
Estimación del contenido de humedad en el sistema de pavimento

Puesto que el agua tiene un alto valor de constante dieléctrica (80, aproximadamente), su presencia incrementa el valor de la constante correspondiente a cada capa. El valor de esta constante es 1 para el aire, de 3 a 6 para el asfalto caliente, de 4 a 9 para agregados, y de 6 a 15 para concreto. Así, las señales reflejadas entre las interfaces de dos capas indican diferentes incrementos de contenidos de humedad.

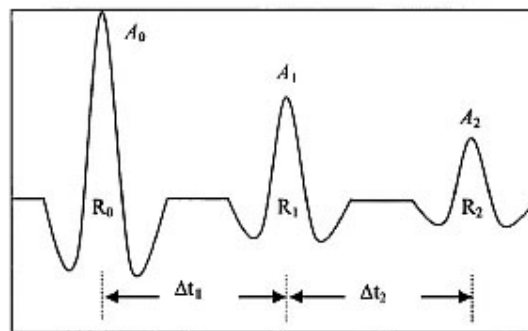
Para una base granular, b , compuesta por agregados (agr), $aire$, y $agua$, y designando con V las respectivas fracciones de volumen, la constante dieléctrica de la base puede ser expresada como:

$$\epsilon_b = (V_{agr} \sqrt{\epsilon_{agr}} + V_{aire} \sqrt{\epsilon_{aire}} + V_{agua} \sqrt{\epsilon_{agua}})^2$$

De otra parte, estudios anteriores proponen relaciones empíricas para obtener ϵ_b a partir de los valores de las amplitudes, A , registradas por el radar. Entonces, de la expresión anterior, se obtiene el volumen de agua.

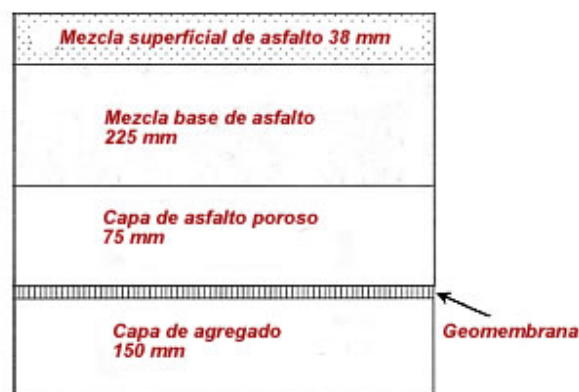


REFLEXIONES EN UN SISTEMA TÍPICO DE PAVIMENTO



RESULTADOS OBTENIDOS DEL RADAR

De la geomembrana



SECCIÓN DEL PAVIMENTO

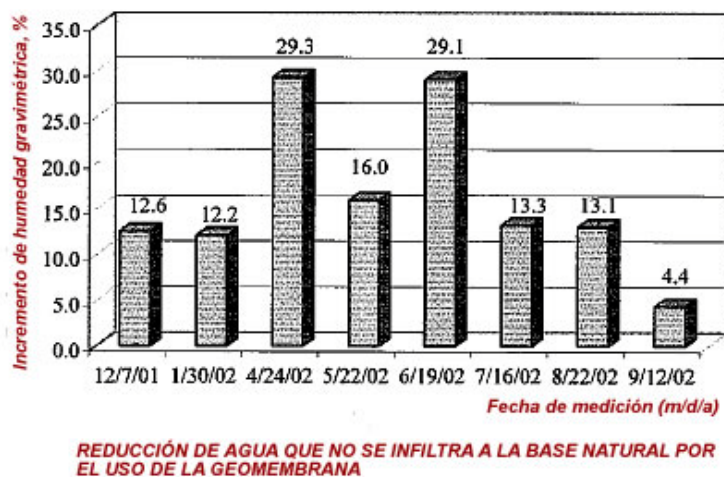
En dos secciones de la vía de Virginia fueron instaladas las geomembranas, según el esquema previo. Se trata de una capa de 2 mm de espesor de PVC, de bajo módulo, entre dos geotextiles de poliéster. El PVC tiene la

finalidad de controlar la infiltración de agua y la migración de finos. Se conocen las características para el diseño utilizado, tanto de la geomembrana, del sistema de pavimento, como de la base natural. La napa freática fue registrada como baja, y no fue detectada en las pruebas. Así, la principal fuente de agua correspondió a la precipitación infiltrada a través de las capas. Además, el diseño cuenta con pendientes apropiadas para el drenaje (5% longitudinal y 2% lateral).

La otra sección considerada en la vía -también de 20 m-, tiene el mismo diseño, excepto que está sin geomembrana. Se utilizó para fines de comparación de los resultados.

Datos y resultados

Los datos fueron recopilados para diferentes periodos del año (en diciembre del 2001, y enero, abril, mayo, junio, julio, agosto, y setiembre del 2002) en las mismas localizaciones. Se distinguen condiciones secas y aquellas de lluvias y nieve. Se dispuso de un valor referencial de contenido de agua correspondiente al periodo de construcción de la vía en 1999.



Los resultados indican que en condiciones secas, la reducción de humedad que no llega a la base natural es del orden de 4 a 13% de diferencia. Pero alcanza el 30% después de las lluvias. La efectividad del uso de la geomembrana, está también relacionada con la capacidad de drenaje de la capa porosa.

Al impedir con la geomembrana la infiltración de agua a las capas inferiores, mejora la capacidad de carga y operatividad de éstas. Ello fue comprobado por un monitoreo de deflexión, con el uso de un deflector de impacto o caída de peso, el cual se efectuó en un área con geomembrana, y otro sin ésta. El uso de geomembrana disminuye la deflexión, principalmente en época de deshielo.