

XXXIV REUNIÓN DEL ASFALTO (Mar del Plata)

Título del Trabajo: UTILIZACIÓN DE GRILLAS DE POLIÉSTER EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN ZONAS FRÍAS

Autor: Ingeniero Civil Carlos Alberto Ardanaz

Consultor independiente – Profesor de la Escuela de Graduados de Ingeniería de Caminos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires - Ex Sub-Administrador General de la Dirección Nacional de Vialidad – Director Técnico de la Revista “Carreteras”

Dirección: Conesa 1925 4ªA – (1428) Ciudad de Buenos Aires

Teléfono: 4784-4921

e-mail: cardanaz@arnet.com.ar

RESUMEN

En las últimas décadas han aparecido en el mundo nuevos materiales que los ingenieros viales han incorporado a sus proyectos de repavimentación, y en consecuencia a las obras que se han ejecutado. Entre estos materiales se pueden mencionar los geotextiles tejidos y no tejidos y los asfaltos modificados, que han permitido la solución de problemas tradicionales con nuevas tecnologías.

Más recientemente han aparecido las grillas de poliéster, cuya mayor aplicación en el país se llevó a cabo a mediados de la década del '90 en ocasión de la primera etapa de remodelación del Acceso Norte a Buenos Aires, y posteriormente se ha utilizado en la repavimentación del Aeropuerto de Ezeiza.

El autor, al tener que diseñar la solución a aplicar para la rehabilitación del Aeropuerto Internacional Zvartnots de la ciudad de Yerevan, capital de Armenia, en la región caucásica del Asia, en razón de haber sido contratado como proyectista de la misma, lo ha utilizado y la evaluación posterior ha demostrado el éxito de su aplicación. El autor también ha diseñado soluciones para otros problemas dentro del campo vial como lo es el caso particular de ensanches de pavimentos bituminosos existentes, para resolver un problema de vieja data. Estas utilizaciones fueron presentadas en la XXXIII Reunión del Asfalto de Mendoza del año 2004.

En el presente trabajo se propone otra aplicación de grillas de poliéster de filamentos continuos recubiertos con material bituminoso combinado con un geotextil ultraliviano no tejido para la rehabilitación de pavimentos bituminosos en zonas frías, utilizable en nuestro país en toda la zona patagónica y cordillerana en general. Se describe el tipo de deterioro característico que se produce en los pavimentos asfálticos en estas zonas y en el trabajo se demuestra que se puede proyectar una solución con la aplicación de grillas que si bien técnicamente es equivalente a las soluciones que tradicionalmente se utilizan, desde el punto de vista de la economía es netamente superior y posee un amplio campo de aplicación en la rehabilitación de pavimentos asfálticos.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1 GRILLAS PARA PAVIMENTACIÓN	4
1.1 Introducción	4
1.2 Clasificación	4
1.3 Función de la grilla	5
1.4 Adherencia entre la mezcla asfáltica y el material de refuerzo	5
1.5 Resistencia a la fatiga.....	6
1.6 Aspectos constructivos	6
1.7 Especificaciones Técnicas.....	7
2 ESTUDIOS DE LABORATORIO	8
2.1 Introducción	8
2.2 Ensayos de laboratorio	8
2.3 Gráficos de fatiga	8
2.4 Conclusiones de los Ensayos de Laboratorio	9
3 DETERIOROS TÍPICOS DE LOS PAVIMENTOS EN REGIONES FRÍAS.....	10
4 CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	10
5 DISEÑOS ESTRUCTURALES TÍPICOS.....	11
5.1 Capas estructurales constituyentes de los pavimentos asfálticos	11
6 MECANISMO DEL DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS EN ZONAS FRÍAS	11
6.1 Proceso de deterioro	11
7 SOLUCIONES ADOPTADAS.....	12
7.1 Descripción de la solución proyectada	12
7.2 Descripción de la solución propuesta	12
8 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	13
8.1 Precios unitarios	13
8.2 Costo de la solución habitualmente empleada (Figura N° 2)	13
8.3 Costo de la solución propuesta (Figura N° 3)	13
9 PAVIMENTOS EXISTENTES CON FISURACIÓN DE DISTINTO GRADO	14
9.1 Grados de fisuración.....	14

A continuación se analiza la aplicabilidad de la solución propuesta sobre la base del porcentaje de deterioro observado en la superficie del pavimento, cuando aparecen distintos tipos de grado de fisuración. 14

9.2 Evaluación superficial de los deterioros..... 14

9.3 Análisis económico 15

10 CONCLUSIONES..... 16

11 BIBLIOGRAFÍA 17

12 AGRADECIMIENTOS 17

1 GRILLAS PARA PAVIMENTACIÓN

1.1 Introducción

Las “grillas sintéticas” utilizadas en pavimentación asfáltica son geosintéticos que se encuentran comprendidos dentro de las llamadas genéricamente “geogrillas”, las cuales consisten en una “red regular de elementos íntegramente conectados, con aberturas mayores a los 6,35 mm, para permitir el intertrabado con los materiales circundantes, que funciona principalmente como refuerzo” (Norma IRAM 78001).

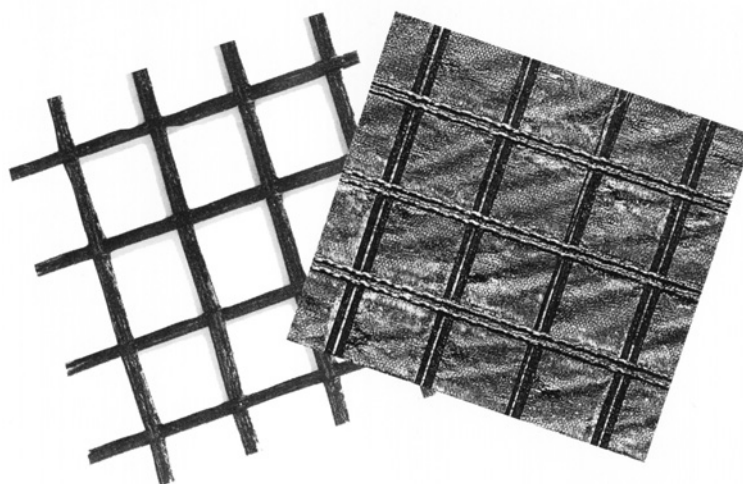
1.2 Clasificación

Usualmente las geogrillas se clasifican de acuerdo a la metodología utilizada durante la fabricación del producto ¹, de la siguiente manera:

- **Geogrillas tejidas:** elaboradas por tejido o entrecruzamiento de filamentos sintéticos generalmente de poliéster, poliamida o polímeros de alta tenacidad.
- **Geogrillas de láminas traccionadas:** fabricadas a partir de procesos de tracción uni o bidireccional a una lámina sintética previamente perforada (normalmente de polipropileno o polietileno).
- **Geogrillas soldadas:** obtenidas vinculando bandas o cordones de filamentos sintéticos en sus puntos de cruce, mediante soldadura térmica.

Cada tipo de grilla presenta diferentes propiedades mecánicas, debido no sólo a los distintos procesos de fabricación sino también a las propiedades intrínsecas de los polímeros que se utilizan en cada caso. También existen antecedentes de otros tipos de mallas o grillas empleadas para reforzar pavimentos asfálticos, como ser:

- **Grillas de fibra de vidrio:** asimilables en su aspecto a las grillas del primer grupo, si bien poseen diferente desempeño debido a las propiedades de los filamentos de vidrio con que se elaboran, se hallan limitadas a su uso en recapados asfálticos.
- **Mallas metálicas:** de alambre tejido o varillas electrosoldadas.



¹ Ver “Designing with Geosynthetics”, Edición 1994 de R. Korerner).

1.3 Función de la grilla

A diferencia de las soluciones englobadas bajo la sigla en inglés **SAMI** (**S**tress **A**bsorbing **M**embrana **I**nterlayer), que en nuestro país se materializaron fundamentalmente a partir de la aplicación de un geotextil no tejido saturado en asfalto previo a la colocación de la capa de pavimento asfáltico, sea sobre una base rígida o un pavimento existente fisurado, cuya función básicamente consistía en interponer una discontinuidad de características viscoelásticas que retardara la aparición de fisuración refleja, la función básica de una grilla en pavimentación asfáltica es la de **reforzar** las capas del pavimento a fin de prevenir la aparición de fisuras o grietas reflejas en las zonas críticas del pavimento.

La grilla actúa como un refuerzo de la capa asfáltica en la que se instala, tal que podríamos hablar de un “**Concreto Asfáltico Armado**” (**C.A.A.**)², ya que la grilla permite absorber tensiones de tracción a la capa asfáltica, demorando sensiblemente la aparición de fisuras ya sea por fatiga o térmicas en el pavimento. Incluso continúan actuando después que la fisura aparece, limitando su movimiento, es decir la velocidad con que se propaga y manteniendo unidos los “bloques” o “losas” que la fisuración provoca. Para cumplimentar dicha función, se debe verificar que:

- a) **La adherencia entre la mezcla asfáltica y el material de refuerzo debe ser óptima**, a fin de permitir una distribución y transferencia de los esfuerzos de tracción entre el refuerzo y la mezcla asfáltica.
- b) **La grilla de refuerzo debe ser capaz de absorber los esfuerzos debidos a las cargas dinámicas cíclicas derivadas del tránsito a largo plazo**, lo que se traduce en una necesaria respuesta a fatiga del material.

A continuación se desarrollan ambos conceptos.

1.4 Adherencia entre la mezcla asfáltica y el material de refuerzo

Este punto resulta de vital importancia para que el refuerzo introducido pueda cumplimentar efectivamente su función. Para que la adherencia sea óptima deben tenerse en cuenta algunos aspectos que a continuación se detallan.

- **La diferencia entre los coeficientes de dilatación del material de refuerzo y la mezcla asfáltica no debe ser excesivamente amplia.**
- **El módulo de elasticidad del refuerzo no debe ser excesivamente más elevado que el módulo de la mezcla asfáltica**, a fin de permitir que se establezca una cooperación entre ambos materiales.
- **El contacto entre grilla y pavimento debe ser óptimo.**

A continuación se comentan brevemente esos tres aspectos.

1.4.1 Coefficientes de dilatación

Una de las potenciales causas de aparición de fisuras reflejas en el pavimento asfáltico es la **fatiga de origen térmico** de las mezclas asfálticas.

Como es sabido, las diferencias entre **coeficientes de dilatación térmica** producen tensiones de corte secundarias entre la mezcla asfáltica y el material de refuerzo causadas por los diferentes movimientos de dilatación y contracción entre ambos materiales. Por lo tanto, si localmente dichas tensiones

² La designación de “Concreto Asfáltico Armado” es original del autor del presente trabajo, y da la casualidad que coincide con las iniciales del mismo...

alcanzaran a superar la tensión límite de adherencia, inmediatamente se produciría una seria reducción de la adherencia entre la mezcla asfáltica y el refuerzo. (Un ejemplo de una buena interacción a causa de coeficientes de dilatación similares es el caso del hormigón y el acero en la constitución del hormigón armado).

Las grillas tejidas de poliéster que se recomiendan, presentan un coeficiente de dilatación térmica de $0,6$ a $1,1$, $\times 10^{-4}$ $(^{\circ}\text{C})^{-1}$, valor éste muy cercano a la mezcla asfáltica de 6×10^{-4} $(^{\circ}\text{C})^{-1}$, sea una de las razones de su superior desempeño como refuerzo de pavimentos asfálticos respecto de otras grillas tal como las de fibra de vidrio, cuyo coeficiente de dilatación es aproximadamente 10 veces menor ($2,2 \times 10^{-5}$ $(^{\circ}\text{C})^{-1}$).

1.4.2 Módulo de Elasticidad del refuerzo (Módulo de Young)

En el caso que nos ocupa, tanto la mezcla asfáltica como la grilla absorben esfuerzos de tracción. Siendo la mezcla asfáltica un material de características elastoplásticas, bajo cargas de corta duración del tránsito se comporta como un material relativamente elástico, lo que le permite distribuir las tensiones y cargas en una superficie mayor dentro de las capas inferiores.

Al introducir un refuerzo rígido dentro de la mezcla asfáltica, la mayoría de estos esfuerzos son absorbidos directamente por él, para posteriormente transferirse a la mezcla asfáltica a causa de la adherencia y el intertrabado entre ambos. **Cuanto más rígido resulte el refuerzo, mayores deberán ser las longitudes de anclaje necesarias para que las tensiones transmitidas no superen la tensión crítica de adherencia.** Al poseer las grillas tejidas de poliéster un Módulo de Elasticidad muy similar al de la mezcla asfáltica bajo cargas de tránsito, entre 7000 N/mm^2 y 7300 N/mm^2 respectivamente, las longitudes de anclaje requeridas para las mismas resultan ser mucho menores que las requeridas para las grillas de fibras de vidrio y las de láminas traccionadas.

Esta característica permite utilizar longitudes de anclaje mínimas, usualmente $1,00$ m, que resultan totalmente insuficientes para el caso de las grillas más rígidas, tal el caso de las grillas tejidas de fibra de vidrio o las de láminas traccionadas.

1.4.3 Contacto entre grilla y pavimento

Resulta fundamental para asegurar la adherencia de la grilla al pavimento, que por su interacción con el mismo sea óptimo. En este caso las grillas tejidas presentan una gran ventaja respecto de las de láminas traccionadas debido a su estructura plana filamentososa que mejora en contacto con las capas adyacentes de mezcla asfáltica a la presencia de recubrimiento que contribuye a la liga.

1.4.4 Ubicación de la grilla

La ubicación de la grilla en el pavimento asfáltico debe ser hecha en el nivel que se prevén las mayores tensiones de tracción, lo que ocurre próximo a la cara inferior de las nuevas capas asfálticas. De esta manera la grilla está más alejada del eje neutro y por lo tanto se obtiene el máximo "brazo de palanca" con lo cual se logra una óptima eficiencia del trabajo de la grilla.

1.5 Resistencia a la fatiga

Por su flexibilidad las grillas de poliéster presentan una elevada respuesta a las cargas cíclicas del tránsito, y por lo tanto a las cargas dinámicas de tránsito a largo plazo. Esta respuesta resulta sensiblemente superior a otros productos rígidos, tal el caso de las grillas de fibra de vidrio y de láminas traccionadas. Una limitada respuesta a las cargas cíclicas del tránsito significa una limitada vida de fatiga.

1.6 Aspectos constructivos

Al igual que en el caso anterior, por tratarse de un material flexible, las grillas de poliéster pueden colocarse sin mayores cuidados sobre superficies asfálticas fresadas, y ser transitadas por

terminadoras sobre orugas metálicas o neumáticos. No ocurre lo mismo con otras grillas, tal el caso de las de fibra de vidrio, las cuales debido a su rigidez y fragilidad.

1.7 Especificaciones Técnicas

En general es importante destacar que las especificaciones técnicas para las grillas deben ser hechas desde un punto de vista funcional o de desempeño. Además a estas grillas se le ha agregado un geotextil ultraliviano (o sea de bajo peso por unidad de superficie) para facilitar la instalación de las mismas. A continuación figuran las especificaciones técnicas de la grilla de uso más habitual actualmente, tanto a nivel mundial como local, para utilizarla como refuerzo de pavimentos asfálticos.

1.7.1 Materiales y Dimensiones

DIMENSIONES	UNIDAD	CARACTERÍSTICA
Material	---	Grilla de multifilamentos continuos de poliéster combinada con un geotextil no tejido
Recubrimiento	---	Bituminoso
Peso Unitario	g/m ²	330
Abertura de la malla	mm x mm	40 x 40
Ancho del rollo	m	Hasta 5,00
Largo del rollo	m	150

1.7.2 Propiedades mecánicas de la grilla

PROPIEDADES	UNIDAD	CARACTERÍSTICA
Resistencia a tracción longitudinal / transversal	kN/m	50/50
Deformación en rotura longitudinal / transversal	% / %	12/12
Resistencia con 3 % de deformación longitudinal / transversal	% / %	12/12
Resistencia del recubrimiento bituminoso a la temperatura de la mezcla asfáltica		Hasta 190 °C
Resistencia de la grilla PET a la temperatura de la mezcla asfáltica		Hasta 250 °C

2 ESTUDIOS DE LABORATORIO

2.1 Introducción

En Sao Paulo, Brasil, en el año 2000, los Ingenieros Guillermo Montestruque Vilchez, Régis Martins Rodrigues y André Estêvão Ferreira da Silva realizaron un estudio de laboratorio dirigido a evaluar de forma cualitativa y cuantitativa el comportamiento que se obtiene al utilizar grillas como elemento de refuerzo en repavimentaciones, contra la propagación de grietas, y cuyos resultados fueron presentados, entre otros eventos, en el XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito (Buenos Aires, Octubre de 2001).³

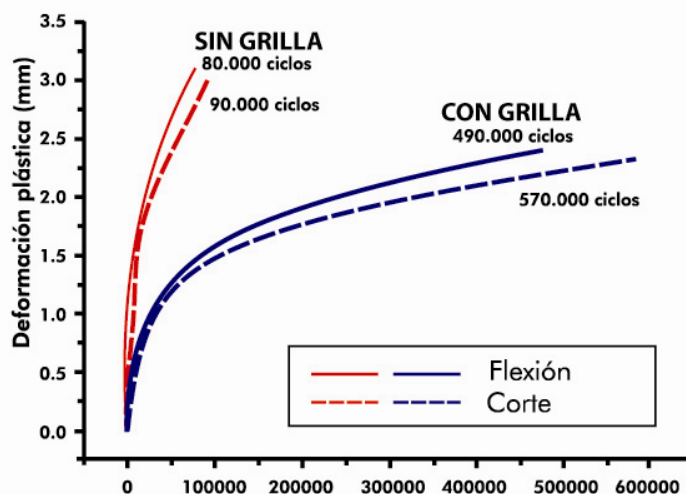
2.2 Ensayos de laboratorio

Fueron realizados en laboratorio ensayos dinámicos de fatiga. El monitoreo de la grieta fue hecho mediante el "Crack Activity Meter" desarrollado por el Instituto Nacional de Transportes de África del Sur. Los movimientos diferenciales entre las paredes de la grieta originados por el paso de una carga de rueda para el caso de campo o por un pistón de aplicación de carga para el caso de laboratorio fueron medidos por 2 LVDT ("Linear Variable Differential Transformers" – Figura 4). De estos ensayos dimos cuenta en la XXXIII Reunión del Asfalto realizada en octubre de 2004 en la ciudad de Mendoza y el trabajo fue publicado en los anales de dicha reunión y también en el número 176 de Diciembre de 2004 en la Revista "Carreteras" de la Asociación Argentina de Carreteras, adonde nos remitimos para el que tenga interés en detalle de los mismos. Sin embargo a efectos de tener en cuenta sus resultados y conclusiones detallaremos brevemente a continuación los mismos.

2.3 Gráficos de fatiga

En la Figura que se adjunta se muestran los gráficos de fatiga para los ensayos realizados con y sin grilla, figurando en el mismo la cantidad de ciclos a los cuales se produce la rotura en ambos casos, tanto en el ensayo a flexión como en el de corte

³ Ver "Evaluación del Comportamiento de Geomallas en el Control de Reflexión de Grietas". Montestruque Vilchez, Martins Rodrigues y Estêvão Ferreira Da Silva. XIII Congreso de Vialidad y Tránsito. Comisión V "Pavimentos Flexibles". Buenos Aires, Octubre 2001.



2.4 Conclusiones de los Ensayos de Laboratorio

A continuación se transcriben las conclusiones extraídas de los ensayos de laboratorio por los autores del trabajo:

- 1) En pavimentos nuevos, la inclusión de la grilla dentro del revestimiento asfáltico y en la zona traccionada de la capa puede llevar a un incremento de la vida de fatiga del pavimento, permitiendo reducir el espesor del revestimiento (beneficio importante en el caso de tránsito pesado de vehículos).
- 2) Por tratarse de una grilla de refuerzo, la rigidez bajo cargas rodantes de la capa asfáltica puede incrementarse, generando una **reducción de las tensiones verticales en las capas subyacentes**, lo que implica una reducción de los ahuellamientos en las huellas por las que transitan las ruedas de los vehículos, debido a deformaciones plásticas bajo la acción repetida de las cargas de tránsito.
- 3) La aparición y la progresión de deterioros en los pavimentos implica **fenómenos de naturaleza aleatoria**. La heterogeneidad resultante de los procesos constructivos, es un factor por lo tanto que afecta la performance futura del pavimento. La inclusión de una grilla sintética puede, contribuir a la homogeneización de la estructura, mejorando su performance global.
- 4) En la fase posterior a la fisuración, la performance puede ser mejorada debido al **cambio en el patrón de agrietamiento**: se puede pasar de una situación en la que se producen grietas de gran longitud y ancho a otra donde la capa aparece solamente con microfisuras (muchas fisuras de pequeña longitud y ancho). Las fisuras de menor severidad son menos nocivas, porque mantienen un elevado entrecruzamiento del agregado en sus paredes. La grilla tiene un efecto similar al de una malla de acero en pavimentos rígidos, o sea el de mantener las fisuras cerradas.
- 5) En la rehabilitación de pavimentos, especialmente de aquellos que se encuentran muy agrietados, a tal punto que es recomendable su reconstrucción, la aplicación de una capa asfáltica de restitución de gálbo, seguida de una grilla de refuerzo y de una capa asfáltica de refuerzo, puede constituirse en una alternativa económicamente más eficaz, especialmente cuando se considera los inconvenientes para el tránsito en un trabajo de reconstrucción.

- 6) Finalmente, los resultados obtenidos en laboratorio demuestran **el excelente desempeño cualitativo y cuantitativo de las vigas con grillas**, cuando son comparados las similares sin refuerzo.

3 DETERIOROS TÍPICOS DE LOS PAVIMENTOS EN REGIONES FRÍAS

En gran parte de la red de carreteras en regiones de baja temperatura de nuestro país existen ciertas características que producen un tipo de deterioro típico de los pavimentos. Las características peculiares son:

- Temperaturas bajas (con posibilidad de congelamiento del agua sobre el pavimento).
- Fuertes vientos
- Tránsitos relativamente bajos

Esto lleva que a medida que va aumentando la edad del pavimento, vayan apareciendo gradualmente fisuras transversales bien definidas, que están distanciadas en forma aproximadamente regular, y que con el transcurso del tiempo vayan apareciendo otras fisuras transversales intermedias. Ver las fotografías que aparecen en el **ANEXO I**.

Esto ha llevado a los proyectistas de la rehabilitación de dicho tipo de obra a diseñar distintas soluciones para la rehabilitación de los pavimentos en esta situación, como se explicará más adelante.

4 CONDICIONES CLIMÁTICAS

4.1.1 Tipo y características del clima

Como ejemplo de regiones frías puede citarse la parte de nuestro país que posee el tipo de clima **"árido patagónico"**, según la clasificación climática de Köppen ⁴, que comprende la casi totalidad de las **provincias del Neuquén, Río Negro, Chubut y Santa Cruz**, excepto en la zona cordillerana donde el clima es del tipo **"frío"** con los subtipos: **"Frío húmedo de la Cordillera Patagónica Fueguina"**, **"nival"** y **"Magallánico"**. Este último tipo de clima es el que tiene la provincia insular de **Tierra del Fuego**.

Las **características principales** del tipo de clima **"árido patagónico"** son las siguientes ("Mapas y Estadísticas de la República Argentina" del CO.NA.DE.):

Temperatura Media Anual	6 a 14 °C
Temperatura Máxima Media Anual:	25 a 40 °C
Temperatura Mínima Media Anual:	-10 a -15 °C
Temperatura Máxima Absoluta Anual:	30 a 40 °C
Temperatura Mínima Absoluta Anual:	-20 a -15°C
Precipitación Media Anual:	200 mm o algo menos
Humedad Relativa Media Anual:	60 % a 70 %

⁴ Atlas de la República Argentina del Instituto Geográfico Militar, 8ª Edición, abril de 2001.

5 DISEÑOS ESTRUCTURALES TÍPICOS

5.1 Capas estructurales constituyentes de los pavimentos asfálticos

En general los pavimentos asfálticos proyectados y construidos para estas regiones frías están constituidos típicamente por las siguientes capas estructurales:

- Carpeta bituminosa tipo concreto asfáltico
- Base bituminosa tipo concreto asfáltico
- Base granular estabilizada anticongelante
- Sub-base granular estabilizada drenante ⁵

En la **Figura N° 1 del ANEXO II** se ha hecho un esquema del diseño estructural típico de una de las rutas nacionales que existen actualmente en esta zona.

6 MECANISMO DEL DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS EN ZONAS FRÍAS

6.1 Proceso de deterioro

Los pavimentos son estructuras que deben poder soportar las **cargas del tránsito** y las **condiciones climáticas**, y transmitir las primeras a la obra básica de fundación (subrasante, núcleo de terraplén y base de asiento). En general están diseñadas para una Vida Útil de 10 años o más, ya que su diseño es acorde al tránsito que soportan.

El efecto más nocivo que deben soportar los pavimentos de zonas frías en general son **las adversas condiciones climáticas**, ya señaladas. Estas condiciones producen un aumento acelerado de la viscosidad del cemento asfáltico en las capas bituminosas, con una consecuente pérdida de la flexibilidad y aumento de la rigidez de la estructura. Estas capas estructurales gradualmente comienzan a comportarse reológicamente en forma intermedia entre las capas flexibles y semirrígidas.

Ello hace que ante las **tensiones de tracción** que deben soportar por la contracción de la capa debido a las bajas temperaturas y al tránsito existente, comienza a aparecer un deterioro típico consistente en **fisuras transversales bien definidas espaciadas regularmente**. Luego cuando llueve o nieva y el agua en contacto con el pavimento se congela, inclusive dentro de las fisuras, se va produciendo gradualmente el aumento del ancho de las mismas. Inicialmente las fisuras aparecen aproximadamente cada 25 metros y luego van surgiendo otras intermedias a medida que las "losas asfálticas" que se han producido al desaparecer la continuidad de la capa, no soportan las tensiones de tracción que se desarrollan (Ver Fotografías al final del informe en el **ANEXO I**).

A la derecha de la **Figura N° 1 del ANEXO II** se ha calculado el **Número Estructural efectivo** del pavimento existente ya fisurado, según el **Método AASHTO 1993**, actualmente vigente, donde a las capas asfálticas se les ha aplicado, un factor de reducción de 0,60, siguiendo lo sugerido por el método en razón del tipo y severidad de la fisuración, obteniéndose el siguiente valor de capacidad portante para la estructura existente:

$$SN_{\text{eff}} = 3,224$$

⁵ Para que esta última capa cumpla cabalmente su función debería interceptar todo el ancho del terraplén de la obra básica, de tal manera de poder drenar hacia las cunetas el agua que eventualmente pudiera penetrar.

7 SOLUCIONES ADOPTADAS

7.1 Descripción de la solución proyectada

Cuando hay que rehabilitar la ruta para devolver la capacidad portante de la estructura y recuperar la continuidad de las capas asfálticas, normalmente los proyectistas diseñan una solución basada en el método constructivo denominado "reciclado" (Ver Figura N° 2 del ANEXO II).

Esta solución consiste en reciclar las capas asfálticas existentes mediante el fresado de las mismas, incluyendo parte de la base estabilizada subyacente, generando una capa nueva que es una mezcla del producto del fresado de ambos materiales (mezcla asfáltica y estabilizado granular). Luego se cubre esta estructura ya compactada con una base y carpeta asfáltica bituminosa nuevas.

A la derecha de la **Figura N° 2 del ANEXO II** se ha calculado el **Número Estructural de diseño** según el **Método AASHTO 1993**, donde a la capa reciclada se ha aplicado un coeficiente de aporte estructural de 0,050 1/cm considerando que con la mezcla resultante del reciclado se pudiere llegar a obtener un Valor Soporte Dinámico de alrededor de 60 %, resultando el siguiente valor de capacidad portante para la estructura completa diseñada:

$$SN_{dis} = 4,276$$

7.2 Descripción de la solución propuesta

En este trabajo se propone otro tipo de solución con una metodología substancialmente distinta mediante la **utilización de grillas de poliéster** para tomar las tensiones de tracción que se producen por la contracción de las capas asfálticas por las bajas temperaturas y el tránsito, y de esta manera evitar o retardar significativamente la aparición de "fisuras reflejas" (Ver la **Figura N° 3 del ANEXO II**).

Esta solución consiste en **fresar** en un metro de ancho la zona donde se ha producido la fisura en un espesor de aproximadamente la mitad de las capas asfálticas (0,06 m). Luego se ejecuta el **riego de liga** y la instalación de la **grilla de poliéster**, la cual cuenta con un geotextil ultraliviano para facilitar su instalación, cubriéndola con mezcla asfáltica tipo concreto asfáltico. Posteriormente se completa la estructura colocando una sola **carpeta asfáltica** de 0,05 m de espesor.

El ancho de un metro es necesario para proveer la **longitud de anclaje** necesaria para que la grilla pueda transmitir por adherencia las tensiones de tracción que se producen al contraerse por las bajas temperaturas el sector de carpeta continuo entre 2 fisuras consecutivas.

A la derecha de la **Figura N° 3 del ANEXO II** se ha calculado el nuevo **Número Estructural de diseño** propuesto por el autor según el Método AASHTO 1993, donde a la capa asfáltica existente superior se ha aplicado un coeficiente de reducción de sólo el 80 %, ya que se han hecho desaparecer las fisuras que poseía esta capa, llegándose al siguiente valor de capacidad portante de la estructura completa diseñada propuesta:

$$SN_{disCA} = 4,278$$

Como se observa con esta solución se logra una capacidad estructural del pavimento resultante similar a la solución anterior.

8 ANÁLISIS ECONÓMICO

8.1 Precios unitarios

Para realizar un análisis económico tomaremos precios medios de mercado considerados al mes de febrero de 2005, IVA incluido:

- Carpeta bituminosa tipo concreto asfáltico (e = 0,05 m): \$/m² 35,50
- Base bituminosa tipo concreto asfáltico (e = 0,05 m): \$/m² 35.-
- Bacheo con concreto asfáltico (incluye fresado en 0,06 m): \$/m² 75.-
- Reciclado en frío (e = 0,20 m): \$/m² 22.-
- Riego de liga: \$/m² 2,20
- Imprimación simple: \$/m² 3,40
- Grilla de poliéster con geotextil ultraliviano: \$/m² 25.-

Además para esta comparación consideraremos que la fisuración transversal ya está en estado avanzado y que su espaciamiento es de 10 metros, o sea que cada 10 metros hay que tratar una fisura en un metro de ancho, afectando con esta hipótesis el 10 % de la superficie.

8.2 Costo de la solución habitualmente empleada (Figura N° 2)

- Carpeta bituminosa tipo concreto asfáltico (e = 0,05 m): \$/m² 35,50
- Riego de liga: \$/m² 2,20
- Base bituminosa tipo concreto asfáltico (e = 0,05 m): \$/m² 35.-
- Riego de liga: \$/m² 2,20
- Imprimación simple: \$/m² 3,40
- Reciclado en frío (e = 0,20 m): \$/m² 22.-

Costo por metro cuadrado solución: \$/m² 100,30

8.3 Costo de la solución propuesta (Figura N° 3)

- Carpeta bituminosa tipo concreto asfáltico (e = 0,05 m): \$/m² 35,50
- Riego de liga: \$/m² 2,20
- Bacheo con concr. asfáltico (incl. fresado en 0,06 m): \$/m² 75.- x 10 % = \$/m² 7,50
- Riego de liga para el bacheo: \$/m² 2,20 x 10 % = \$/m² 0,22
- Grilla tejida de poliéster: \$/m² 25.- x 10 % = \$/m² 2.50

Costo por metro cuadrado solución propuesta: \$/m² 47,92

Como se observa es prácticamente la mitad del costo de la solución anterior, no obstante tener una capacidad estructural similar.

Además si bien aparece un nuevo material que es la grilla de poliéster embebida en asfalto y con geotextil ultraliviano para facilitar la instalación, en este caso desaparece la imprimación y la capa reciclada, realizándose sólo un bacheo con concreto asfáltico del 10 % de la superficie en la zona de fisuras; se hace sólo un riego de liga de la superficie completa y el consumo de mezclas asfálticas es un 57 % del anterior (137 kg/m² contra 240 kg/m²), lo que trae aparejado también un acortamiento en los plazos de ejecución, muy importante en este tipo de regiones donde inclusive pueden existir períodos importantes de veda invernal.

9 PAVIMENTOS EXISTENTES CON FISURACIÓN DE DISTINTO GRADO

Hasta aquí hemos tratado la rehabilitación de los pavimentos asfálticos en zonas frías que presentan el deterioro típico de **fisuración transversal**. Ahora vamos a ver qué ocurre cuando en el deterioro existente se presenta **distintos grados de fisuración**, e inclusive otros deterioros.

9.1 Grados de fisuración

La Dirección Nacional de Vialidad en su publicación técnica: "**Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos**" clasifica el **grado de fisuración** mediante la comparación de la fisuración característica existente con patrones exhibidos en las fotos de un **catálogo de fotografías**, otorgando un "**coeficiente de deterioro**" (D3), que por ser el tema ampliamente conocido sólo resumiremos brevemente a continuación.

- **Fisura Tipo 2:** Fisura formada en una sola línea, aislada y con tendencia a ramificarse.
- **Fisura Tipo 4:** Fisura ramificada con tendencia a formar una malla generalizada en sectores del pavimento.
- **Fisura Tipo 6:** Fisura en forma de malla que abarca una superficie más amplia de pavimento y con tendencia a formar piel de cocodrilo.
- **Fisura Tipo 8:** Fisura generalizada en forma de malla cerrada, de reticulado más chico, formando la llamada "piel de cocodrilo".
- **Fisura Tipo 10:** Fisura totalmente generalizada con desprendimiento de panes de material y formación de bache.

Además debe computarse y registrar en la respectiva planilla de evaluación el **porcentaje de superficie afectado por el respectivo deterioro**.

A continuación se analiza la aplicabilidad de la solución propuesta sobre la base del porcentaje de deterioro observado en la superficie del pavimento, cuando aparecen distintos tipos de grado de fisuración.

9.2 Evaluación superficial de los deterioros

Primeramente debe realizarse una detallada evaluación superficial del estado del pavimento. La metodología para la realización de la misma consiste en computar hectométricamente todos los deterioros que se observan en la superficie del pavimento clasificando los mismos por el tipo de fisura, existencia de baches y desprendimiento que se presentan. Para las **fisuras tipo 2 y 4** el cómputo debe hacerse en **metros lineales**, preferiblemente mediante la utilización de un odómetro manual, y para las **fisuras tipo 6; 8 y 10 y el desprendimiento** el cómputo debe hacerse mediante la **superficie de pavimento** afectada por el respectivo deterioro. Luego se homogeneiza el cómputo a unidades de superficie considerando que las fisuras lineales afectan un ancho de un metro de pavimento. De esta manera se puede calcular el **porcentaje de la superficie de pavimento afectada por deterioros**.

9.3 Análisis económico

Sobre la base del porcentaje calculado según se explica en el apartado anterior y los precios de los ítems detallados anteriormente se puede realizar la siguiente ecuación para calcular el costo de la reparación según la solución propuesta, en función del porcentaje de pavimento afectado por deterioros que se rehabilitarían mediante la aplicación de la grilla de poliéster, según se indica a continuación:

$$\text{Costo de la reparación} = 35,50 \$/\text{m}^2 + 2,20 \$/\text{m}^2 + (75.- \$/\text{m}^2 + 2,20 \$/\text{m}^2 + 25.- \$/\text{m}^2) \times \\ \times \text{Porcentaje del pavimento afectado por deterioros (\%)}$$

A continuación se elabora una tabla donde se indica el costo de la reparación en función del porcentaje de superficie del pavimento afectado por deterioros.

Porcentaje de pavimento afectado por deterioros	Costo de la reparación
10 %	47,92 \$/m ²
20 %	58,14 \$/m ²
30 %	68,36 \$/m ²
40 %	78,58 \$/m ²
50 %	88,80 \$/m ²
60 %	99,02 \$/m ²
70 %	109,24 \$/m ²
80 %	119,46 \$/m ²
90 %	129,68 \$/m ²
100 %	204,40 \$/m ²

Como se desprende de la tabla se observa que **cuando porcentaje de la superficie del pavimento afectado por deterioros es hasta el 50 % de la superficie del mismo, la solución propuesta para la rehabilitación del pavimento con la utilización de la grilla de poliéster es más conveniente que el reciclado del pavimento.** Esta última solución recién sería conveniente a partir que el porcentaje afectado sea del 70 % o superior. Cuando el porcentaje se encuentra en el orden del 60 % aparece como indiferente la adopción de cualquiera de las 2 soluciones. En este caso deberán considerarse otros elementos para la adopción de la solución económicamente más conveniente.

De todos modos la tabla anterior podría considerarse que tiene un aspecto teórico conceptual ya que cuando el pavimento tiene un cierto porcentaje de deterioro significativo ya debería actuarse sobre el mismo para lograr algún tipo de rehabilitación. Sin embargo la tabla es útil para tener una idea del amplio campo de aplicación que posee la grilla de poliéster, considerando los aspectos técnico económicos.

10 CONCLUSIONES

Se ha hecho una breve descripción de las **grillas de distinto tipo y de sus características técnicas**.

Se ha descrito el **comportamiento y deterioros típicos de los pavimentos asfálticos en zonas frías** como lo es el sur de nuestro país o sea en la Patagonia Argentina.

Se ha descrito **la solución que actualmente se diseña para la rehabilitación de dichos pavimentos** basada en el concepto metodológico de "reciclado".

Se ha propuesto una **solución substancialmente distinta** sobre la base de la **utilización de grillas tejidas de poliéster de alto módulo, embebidas con asfalto y con geotextil ultraliviano** para facilitar su instalación.

Se ha **comparado técnicamente** ambas soluciones encontrándose que la solución aquí propuesta tiene una **capacidad estructural similar** a la que se viene utilizando.

Se ha **comparado económicamente** ambas soluciones encontrándose que **la solución propuesta cuesta aproximadamente la mitad de la anterior** en el caso frecuente de fisuración transversal definida.

También se ha analizado la aplicabilidad desde el punto de vista económico en la rehabilitación de pavimentos que posean **distintos tipos de deterioro** y se ha arribado a la conclusión que es **económicamente conveniente su aplicación cuando el pavimento tiene hasta el 50 % de su superficie deteriorada**.

Además hay un **menor consumo de materiales no renovables** (cemento asfáltico, asfalto diluido o emulsión bituminosa, y agregados pétreos para mezclas asfálticas) **y de energía** ya que los equipos de reciclado ("reclaimers") en razón del esfuerzo que deben realizar son de gran potencia (≥ 400 HP) para obtener esos espesores de reciclado (0,23 m). Esta última conclusión no es menor considerando los beneficios medioambientales que conlleva y el elevado **precio actual del barril de petróleo**.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Norma IRAM 78001.
- "Designing with Geosynthetics", Edición 1994 de R. Koerner
- Hatelit® Grillas – CORIPA S.A. Oficina Técnica, Informativo Técnico 4/96.
- "Evaluación del comportamiento de geomallas en el control de reflexión de grietas", MSc. Guillermo Montestruque Vilchez, DSc. Régis Martins Rodrigues e Ing. André Estêvão Ferreira da Silva. XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Buenos Aires, Octubre 2001.
- Reporte N° CDOT-DTD-R93-6 (1993), Departamento de Tránsito de Colorado de EE.UU.
- "Ventajas de las grillas tejidas de poliéster respecto a otros materiales en Repavimentación Asfáltica", Reporte de CORIPA S.A. del 12/02/1999.
- "Grelha flexível de alta resistencia para reforço de concreto asfáltico", Reporte de Huesker.
- "JBIC Special Assistance for Project Formation (SAPROF) for Yerevan Zvartnots International Airport Rehabilitation Project", Implementation Programme, The SAPROF Team, Japan International Cooperation, Febrero 2001.
- "Obra Repavimentación de Pista y Ejecución Nuevo Sistema de Balizamiento- 1ª Etapa entre progr. 0,00 a progr. 900,00 - Memoria Descriptiva de Trabajos a Ejecutar", para Couthill Corporation Armenia Branco, Ing. Carlos A. Ardanaz, mayo 2002.
- "Utilización de grillas en obras de pavimentación asfáltica", Ing. Carlos A. Ardanaz, XXXIII Reunión del Asfalto, Mendoza, Octubre de 2004. Número 176 de la Revista "Carreteras", Asociación Argentina de Carreteras, Diciembre de 2004.

12 AGRADECIMIENTOS

- Al Centro Técnico Aeroespacial, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão Engenharia de Infra-Estrutura AERONÁUTICA, Departamento De Geotecnia.
- A la Oficina Técnica de Huesker Ltda., São José dos Campos, São Paulo, Brasil.
- Al Ing. Guillermo Montestruque Vilchez.
- A los Ingenieros Carlos A. Rodríguez y Alejandro Peirano, de la Gerencia Técnica de Coripa S.A.

ANEXO II

SITUACION EXISTENTE

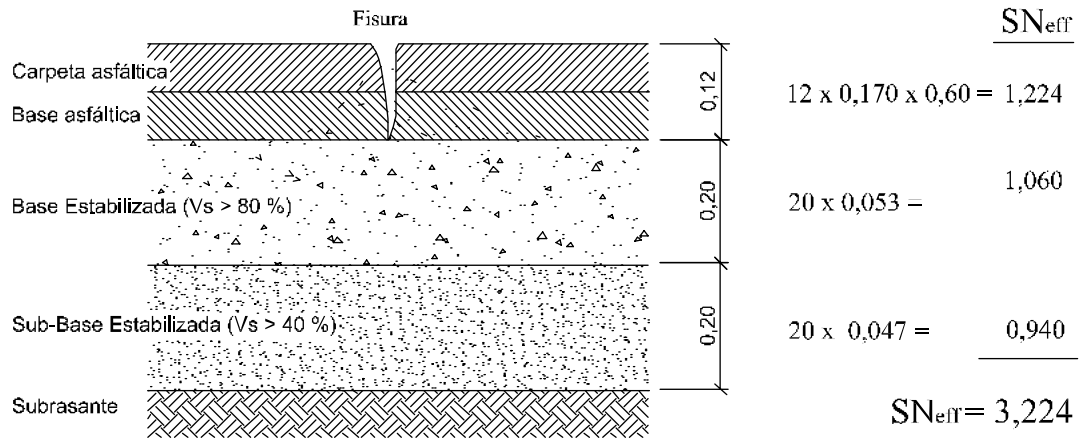


Figura N° 1

SOLUCION PROYECTADA

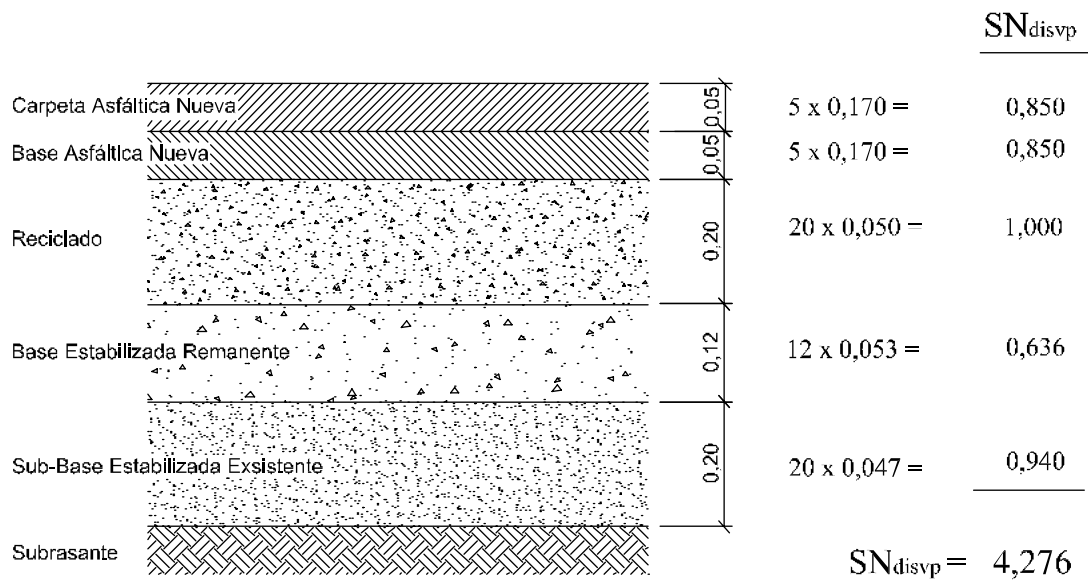


Figura N° 2

SOLUCION PROPUESTA

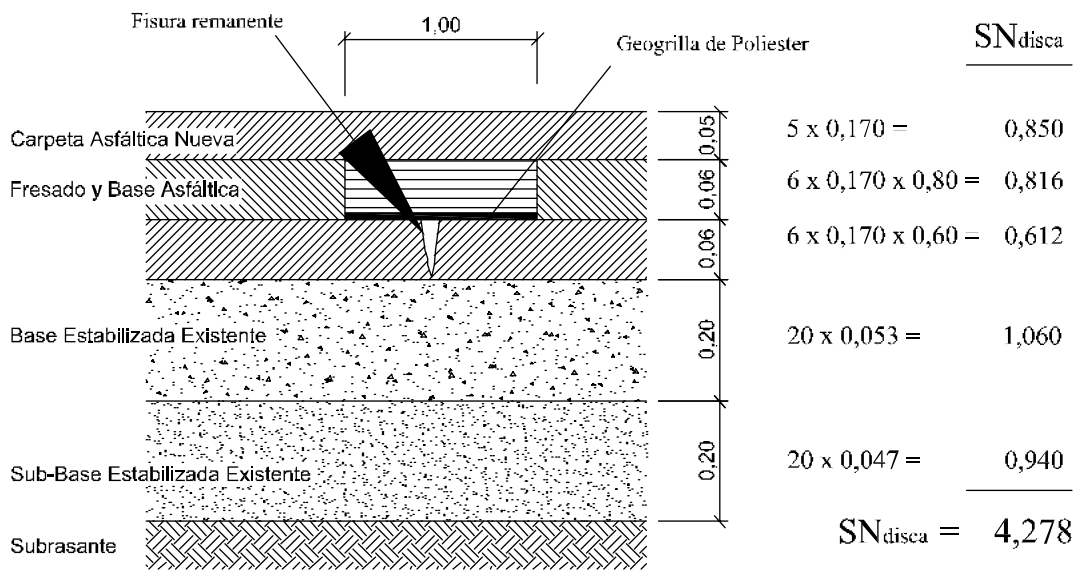


Figura N° 3